

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

11017 U.S. PTO
09/812365
03/20/01

In re PATENT APPLICATION of
Inventor(s): KUSUNOKI, et al.

Appln. No.: Not Assigned

Group Art Unit: Not Assigned

Filed: March 20, 2001

Examiner: Not Assigned

Title: METHOD OF SIMULATION OF PRODUCTION
PROCESS OF SEMICONDUCTOR DEVICE AND SIMULATOR
THEREOF

Atty. Dkt. P 024 5694

M#

Client Ref

Date: March 20, 2001

**SUBMISSION OF PRIORITY
DOCUMENT IN ACCORDANCE
WITH THE REQUIREMENTS OF RULE 55**

Hon. Asst Commissioner of Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

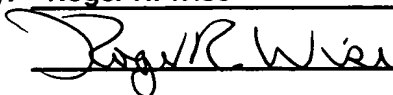
Please accept the enclosed certified copy(ies) of the respective foreign application(s) listed below for which benefit under 35 U.S.C. 119/365 is claimed in the subject application and if not is hereby claimed.

<u>Application No.</u>	<u>Country of Origin</u>	<u>Filed</u>
2000-085268	Japan	March 24, 2001

Respectfully submitted,

Pillsbury Winthrop LLP
Intellectual Property Group

725 South Figueroa Street
Suite 2800
Los Angeles, California 90017-5406
Tel: (213) 488-7100
RRW/jes

By Atty:	<u>Roger R. Wise</u>	Reg. No.	<u>31,204</u>
Sig:	<u></u>	Fax:	(213) 629-1033
		Tel:	(213) 488-7584

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

j1017 U.S. PTO
09/812365
03/20/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 3月24日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-085268

出 願 人

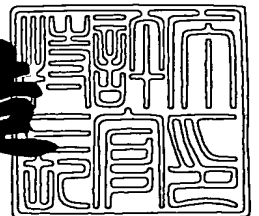
Applicant (s):

株式会社東芝

2000年12月 8日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3103098

【書類名】 特許願

【整理番号】 4HA999091

【提出日】 平成12年 3月24日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G06F 15/60

【発明の名称】 シミュレーション方法、シミュレータ及びシミュレーションプログラムを記録した記録媒体

【請求項の数】 24

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝
横浜事業所内

 【氏名】 楠 直樹

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝
横浜事業所内

 【氏名】 青木 伸俊

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝
横浜事業所内

 【氏名】 天川 博隆

【特許出願人】

 【識別番号】 000003078

 【氏名又は名称】 株式会社 東芝

【代理人】

 【識別番号】 100083806

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 三好 秀和

 【電話番号】 03-3504-3075

【選任した代理人】

【識別番号】 100068342

【弁理士】

【氏名又は名称】 三好 保男

【選任した代理人】

【識別番号】 100100712

【弁理士】

【氏名又は名称】 岩▲崎▼ 幸邦

【選任した代理人】

【識別番号】 100100929

【弁理士】

【氏名又は名称】 川又 澄雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100108707

【弁理士】

【氏名又は名称】 中村 友之

【選任した代理人】

【識別番号】 100095500

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊藤 正和

【選任した代理人】

【識別番号】 100101247

【弁理士】

【氏名又は名称】 高橋 俊一

【選任した代理人】

【識別番号】 100098327

【弁理士】

【氏名又は名称】 高松 俊雄

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 001982

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 シミュレーション方法、シミュレータ及びシミュレーションプログラムを記録した記録媒体

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 物質領域中に節点を生成させる第 1 ステップと、
プロセスのモデルに従って前記節点の移動量を計算する複数の第 2 ステップと

、
前記移動量を累積して累積移動量を求める第 3 ステップと、

前記累積移動量が許容移動量以上になると、前記節点を前記累積移動量だけ移動し、前記累積移動量をクリアーする第 4 ステップとを有することを特徴とするシミュレーション方法。

【請求項 2】 前記物質領域が成長すると下地物質との界面の位置も変動し、前記物質領域が前記下地物質上に存在していない場合に、前記下地物質上に仮の前記物質領域を設ける第 5 ステップと、

前記仮の物質領域中に仮の節点を生成させる第 6 ステップと、

前記界面から前記仮の節点までの距離が同じで方向が逆の移動量を前記累積移動量に設定する第 7 ステップとをさらに有することを特徴とする請求項 1 に記載のシミュレーション方法。

【請求項 3】 前記第 5 ステップにおいて、前記仮の物質領域の厚さが 0 であり、

前記第 6 ステップにおいて、前記仮の物質領域の厚さが所望の厚さになるように前記仮の節点の移動量を計算して、前記仮の節点を移動し、

前記第 7 ステップにおいて、前記仮の節点の前記累積移動量をクリアーし、前記仮の節点の前記累積移動量に、前記仮の節点の移動量に - 1 を乗じた値を設定することを特徴とする請求項 2 に記載のシミュレーション方法。

【請求項 4】 前記プロセスが酸化工程で、前記物質領域が酸化物で、前記下地物質が被酸化物であることを特徴とする請求項 2 又は請求項 3 に記載のシミュレーション方法。

【請求項 5】 前記プロセスがシリサイド化で、前記物質領域がシリサイド

で、前記下地物質がシリコンを主成分とする物質であることを特徴とする請求項 2 又は請求項 3 に記載のシミュレーション方法。

【請求項 6】 物質表面上のストリングに複数の境界点を生成させる第 1 ステップと、

前記境界点間の線分の第 1 の長さを求める第 2 ステップと、

プロセスモデルに従って前記境界点の移動量を計算する第 3 ステップと、

前記境界点を前記移動量だけ移動する第 4 ステップと、

移動後の前記境界点間の前記線分の第 2 の長さを求める第 5 ステップと、

前記第 1 の長さとは前記第 2 の長さを参照して前記境界点の追加又は削除をする第 6 ステップとを有することを特徴とするシミュレーション方法。

【請求項 7】 前記第 4 ステップが、

前記移動量を累積して累積移動量を求める第 7 ステップと、

前記累積移動量が許容移動量以上になると、前記境界点を前記累積移動量だけ移動し、前記累積移動量をクリアする第 8 ステップとをさらに有することを特徴とする請求項 6 に記載のシミュレーション方法。

【請求項 8】 前記第 6 ステップは、

前記第 2 の長さが、前記第 1 の長さに 1 を超える第 1 の係数を掛けた値以上である場合に、前記線分上に新たな境界点を追加する第 9 ステップと、

前記新たな境界点で分割された新たな線分の前記第 1 の長さを求める第 10 ステップとを備えることを特徴とする請求項 6 又は請求項 7 に記載のシミュレーション方法。

【請求項 9】 前記第 1 の係数は 4 以下であることを特徴とする請求項 8 に記載のシミュレーション方法。

【請求項 10】 前記第 6 ステップは、

前記第 2 の長さが、前記第 1 の長さに 1 未満の第 2 の係数を掛けた値以下である場合に、前記線分の方の前記境界点を削除する第 11 ステップと、

削除した前記境界点によらない新たな線分の前記第 1 の長さを求める第 12 ステップとを備えることを特徴とする請求項 6 乃至 9 のいずれか 1 つに記載のシミュレーション方法。

【請求項 1 1】 前記第 2 の係数は 0. 2 5 以上であることを特徴とする請求項 1 0 に記載のシミュレーション方法。

【請求項 1 2】 前記第 1 の係数の逆数が前記第 2 の係数と一致することを特徴とする請求項 1 0 又は請求項 1 1 に記載のシミュレーション方法。

【請求項 1 3】 プロセスのモデルに従って節点の移動量を計算する節点移動量計算部と、

前記移動量を累積して累積移動量を求め、前記累積移動量が許容移動量以上になると、前記節点を前記累積移動量だけ移動し、前記累積移動量をクリアーする第 1 の節点移動部とを有することを特徴とするシミュレータ。

【請求項 1 4】 前記物質領域が成長すると下地物質との界面の位置も変動し、前記物質領域が前記下地物質上に存在していない場合に、前記下地物質上に仮の前記物質領域を設け、前記仮の物質領域中に仮の節点を生成させ、前記界面から前記仮の節点までの距離が同じで方向が逆の移動量を前記累積移動量に設定する第 2 の節点移動部をさらに有することを特徴とする請求項 1 3 に記載のシミュレータ。

【請求項 1 5】 プロセスモデルに従って境界点の移動量を計算する節点移動量計算部と、

前記境界点を前記移動量だけ移動する節点移動部と、

移動前後の前記境界点間の線分の長さを求める長さ計算部と、

前記移動前後の長さを参照して前記境界点の追加又は削除をする調節部とを有することを特徴とするシミュレータ。

【請求項 1 6】 前記節点移動部が、

前記移動量を累積して累積移動量を求め、前記累積移動量が許容移動量以上になると、前記境界点を前記累積移動量だけ移動し、前記累積移動量をクリアーすることを特徴とする請求項 1 5 に記載のシミュレータ。

【請求項 1 7】 前記調節部は、

前記移動後の長さが、前記移動前の長さに 1 を超え 4 未満の第 1 の係数を掛けた値以上である場合に、前記線分上に新たな境界点を追加し、前記新たな境界点で分割された新たな線分の長さを求めることを特徴とする請求項 1 5 又は請求項

1 6 に記載のシミュレータ。

【請求項 1 8】 前記調節部は、

前記移動後の長さが、前記移動前の長さに 0. 2 5 を超え 1 未満の第 2 の係数を掛けた値以下である場合に、前記線分の一方の前記境界点を削除し、削除した前記境界点によらない新たな線分の長さを求めることを特徴とする請求項 1 5 乃至 1 7 のいずれか 1 つに記載のシミュレータ。

【請求項 1 9】 プロセスのモデルに従って物質領域中に生成させた節点の移動量を計算するステップと、

前記移動量を累積して累積移動量を求めるステップと、

前記累積移動量が許容移動量以上になると、前記節点を前記累積移動量だけ移動し、前記累積移動量をクリアするステップとを有することを特徴とするコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体。

【請求項 2 0】 前記物質領域が成長すると下地物質との界面の位置も変動し、前記物質領域が前記下地物質上に存在していない場合に、前記下地物質上に設ける仮の前記物質領域の中に生成させた仮の節点から前記界面までの距離と方向が同じの移動量を前記累積移動量に設定するステップをさらに有することを特徴とする請求項 1 9 に記載のプログラムを記録した記録媒体。

【請求項 2 1】 物質表面上に生成させた境界点間の線分の第 1 の長さを求める第 1 ステップと、

プロセスモデルに従って前記境界点の移動量を計算する第 2 ステップと、

前記境界点を前記移動量だけ移動する第 3 ステップと、

移動後の前記境界点間の前記線分の第 2 の長さを求める第 4 ステップと、

前記第 1 の長さとは前記第 2 の長さを参照して前記境界点の追加又は削除をする第 5 ステップとを有するコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体。

【請求項 2 2】 前記第 3 ステップが、

前記移動量を累積して累積移動量を求める第 6 ステップと、

前記累積移動量が許容移動量以上になると、前記境界点を前記累積移動量だけ

移動し、前記累積移動量をクリアーする第7ステップとを有する事を特徴とする請求項21に記載のプログラムを記録した記録媒体。

【請求項23】 前記第5ステップが、

前記第2の長さが、前記第1の長さに1を超え4未満の第1の係数を掛けた値以上である場合に、前記線分上に新たな境界点を追加する第8ステップと、

前記新たな境界点で分割された新たな線分の前記第1の長さを求める第9ステップとを有する事を特徴とする請求項21又は請求項22に記載のプログラムを記録した記録媒体。

【請求項24】 前記第5ステップが、

前記第2の長さが、前記第1の長さに0.25を超え1未満の第2の係数を掛けた値以下である場合に、前記線分の方の前記境界点を削除する第10ステップと、

削除した前記境界点によらない新たな線分の前記第1の長さを求める第11ステップとを有する事を特徴とする請求項21乃至23のいずれか1つに記載のプログラムを記録した記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は酸化や成膜の半導体プロセスシミュレーション技術に係り、特に、物質領域の形状変化を扱う形状のシミュレーション方法、このシミュレーション方法を実現するシミュレータおよびそのシミュレーション方法を実現するプログラムを記録した記録媒体に関する。

【0002】

【従来の技術】

酸化、デポジション、エッチング工程などの半導体素子形状を計算する形状シミュレーションでは、図20.(a)に示すような半導体素子形状を表すストリングモデルが一般的に用いられている。ストリングモデルでは、境界点 P_i と境界点 P_{i+1} を結ぶ線分 s_i の連なり（ストリング）によって半導体素子形状を表し、各境界点 P を各々のプロセスモデルに従って微少な時間刻みごとに移動して素子

形状の時間的変化を計算する。

【0003】

また、図20(b)に示すように、酸化や不純物プロファイルを計算するために、ストリングで囲まれている領域内には複数の三角形要素 E_i に分割されたメッシュを設ける場合がある。境界点 P_i と領域内部の点 N_{i+1} を総称して節点 N と呼ぶ。領域内にメッシュがある場合には、境界点のみではなく領域内部の点を含む全節点 N を微少な時間刻みごとに移動して半導体素子形状の時間的変化を計算する。このようなストリングモデルを用いた形状シミュレーション方法は、例えば、“VLSI TECHNOLOGY, S.M.Sze, McGraw-Hill, (1988)”に開示されている。しかしながら、従来の技術には以下に示す問題があった。

【0004】

従来の節点 N の移動方法を図21のフローチャートを用いて説明する。まず、ステップS51において、物質領域中の全節点 N の移動量成分を計算する。次に、ステップS52において、節点 N の識別番号 i に0を設定する。次に、ステップS53において、節点 N_0 の移動量 $\{\sqrt{(u_{x0}^2 + u_{y0}^2)}\}$ が許容移動量 (l_{t01}) 以上であるかを判断する。節点 N_0 の移動量が許容移動量以上の場合には、ステップS54において、節点 N_0 を移動する。ステップS55において、番号 i に1を加える。ステップS56において、番号 i が最大の識別番号に1を足した数より小さいか否かを判断する。小さい場合はステップS53に戻り、上記処理を節点 N の識別番号 i が n になるまで繰り返す。 n になったら処理を終了する。すなわち、番号 i の順番に全節点について、節点 N_i の移動量 $\{\sqrt{(u_{xi}^2 + u_{yi}^2)}\}$ が許容移動量 (l_{t01}) 以上であるかを判断し、節点 N_i の移動量が許容移動量以上の場合には節点 N_i を移動する。

【0005】

しかしながら、近年の酸化工程における酸化膜の薄膜化ならびに低温化により、上記方法では酸化膜厚を精度良く計算できないという問題があった。図22のような平坦な構造のシリコン基板52の酸化を例に説明する。図22(a)に示すようにシリコン酸化膜53が表面に形成されたシリコン基板52を更に酸化する。節点54と56間に点線が設けられメッシュが形成される。このメッシュの

形成により節点 5 4 と 5 7 で計算の環境が異なり、数値計算誤差が生じ、節点 5 4 の移動量が許容移動量（例えば、 0.05 nm ）未満で、節点 5 7 の移動量が許容移動量以上である場合には、図 2 2（b）に示すようにシリコン基板 5 2 と酸化膜 5 3 の界面が平坦ではなくなる。その後、酸化膜 5 3 の成長は図 1 2（c）に示すようにシリコン基板 5 2 と酸化膜 5 3 の界面が平坦な状態には戻らない。

【0 0 0 6】

なお、数値計算誤差を低減するために成膜時間の刻みを小さくしていくと各タイムステップにおいて全ての節点 N の移動量が許容移動量未満となり、酸化膜領域が形成できない。

【0 0 0 7】

これらを解決する方法の一つとして、許容移動量未満でも節点を移動することが考えられるが、無駄な形状・メッシュ処理を行うことになり、計算時間の増大を招くという問題がある。また、特開平 1 1 - 1 6 2 9 7 4 号の「プロセスシミュレーション方法」では、酸化剤拡散方程式を解くことにより計算した酸化剤濃度を累積し、前記累積した酸化剤濃度から算出した酸化速度と微小時間 Δt の積が許容移動量以上の場合のみ節点を移動する方法を提案しているが、酸化パラメータは熱処理温度に依存するために酸化温度が変化する計算では正確な計算ができないという問題があった。

【0 0 0 8】

次に、図 2 3 に従来線分 s の長さを調節する方法のフローチャートを示す。まず、ステップ S 6 1 において、移動量計算を何回ループさせるかのステップ数 n_{loop} に所望の回数を設定し、現在のステップ数 j に 0 を設定する。次に、ステップ S 6 2 において、現在のステップ数 j に 1 を加える。ステップ S 6 3 において、全境界点 P の移動量成分を計算し、ステップ S 6 4 において、全境界点 P を移動する。ステップ S 6 5 において、ストリングを構成する少なくとも一つ以上の線分 s の長さを調節する。上記処理を現在のステップ数 j が n_{loop} になるまで繰り返す。

【0 0 0 9】

図 2 4 は、図 2 3 のステップ S 6 5 における線分 s の長さを調節するために境界点 P を追加する内部フローを示すフローチャートである。まず、ステップ S 7 1 において、全境界点 P 移動後の線分 s の長さを計算する。次に、ステップ S 7 2 において、線分 s の識別番号 i に 1 を設定する。ステップ S 7 3 において、境界点 P 移動後の線分 s_1 の長さ r_1 が指定されている最大長 l_{\max} 以上であるかを判断する。 $r_1 \geq l_{\max}$ である場合には、ステップ S 7 4 において、線分 s_1 に新たな境界点 P を追加する。ステップ S 7 5 において、番号 i に 1 を加える。ステップ S 7 6 において、番号 i が最大の識別番号に 1 を足した数より小さいか否かを判断する。小さい場合はステップ S 7 3 に戻り、上記処理を線分 s の識別番号 i が m になるまで繰り返す。 m になったら処理を終了する。すなわち、番号 i の順番に全線分 s について、長さ r が最大長 l_{\max} 以上であるかを判断し、線分 s の長さ r が最大長 l_{\max} 以上である場合には線分 s 上に新たな境界点 P を線分 s 上に追加する。

【 0 0 1 0 】

図 2 5 は、図 2 3 のステップ S 6 5 における線分 s の長さを調節するために境界点 P を削除する内部フローを示すフローチャートである。まず、ステップ S 8 1 において、境界点 P 移動後の全線分 s の長さを計算する。次に、ステップ S 8 2 において、線分 s の識別番号 i に 1 を設定する。ステップ S 8 3 において、境界点 P 移動後の線分 s_1 の長さ r_1 が指定されている最小長 l_{\min} 以下であるかを判断する。 $r_1 \leq l_{\min}$ である場合には、ステップ S 8 4 において、線分 s_1 を構成する境界点 P の一方を削除して新たな線 s'_1 を作成する。ステップ S 8 5 及び S 8 6 において、削除した境界点 P が線分 s_1 と s_2 の接続点である場合には、 s_2 を s'_1 とする。上記処理を線分 s の識別番号 i が $m-1$ になるまで繰り返す。

【 0 0 1 1 】

しかしながら、線分 s の長さ r を指定されている最大長 l_{\max} 以上に設定すると、必ず線分上に新たな境界点を追加するために、無駄な境界点が増えるという問題があった。例えば、図 2 6 (a) に示すように、シリコン基板 5 2 に溝 5 9 が形成されている場合に、(b) に示すように、基板 5 2 の表面にシリコン酸化膜 6 1 を堆積によって成膜する。領域 6 0 について形状シミュレーションを行っ

た結果を図 2 7 に示す。図 2 7 に示すように、基板 5 2 の表面ストリングが不等間隔な線分で構成されている。境界点 P 0 と P 1 の間と P 15 と P 16 の間の形状は、境界点 P 0、P 1、P 15 と P 16 の移動量から予測可能と考え、境界点 P 0 と P 1 の間と P 15 と P 16 の間に節点を配置しないことで、計算時間を短縮する事が期待される。しかし、指定されている最大長 l_{\max} の値が短いのか、必要のない境界点 6 2 と 6 4 を作成する場合があります、期待通りに計算時間を短縮する事ができなかった。

【 0 0 1 2 】

一方、形状のシミュレーションの精度を上げるためには、長さ r_{13} と r_{14} の長くなる線分 s_{13} と s_{14} に新たな節点 6 3 を設ける事が有効である。しかし、指定されている最大長 l_{\max} の値が長いのか、線分 s_{14} には節点 6 3 が生成されるものの、線分 s_{13} には節点は生成されず、形状の精度を上げる事ができなかった。

【 0 0 1 3 】

このように、時間を短縮し、精度を向上するような絶対的な最大長 l_{\max} の値が存在せず、使用者が解析すべき半導体素子構造から線分 s の最大長 l_{\max} と最小長 l_{\min} の最適な値を設定しなければならないという不便さがあった。すなわち、従来の形状処理方法では、正確な素子形状を表現できない場合と、無駄な計算を行う場合があります、半導体素子開発に実用的であるとは言えなかった。

【 0 0 1 4 】

【発明が解決しようとする課題】

本発明は上記事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、薄膜化等による微細な領域でも、計算時間を短縮し、計算精度を高められる 2 次元および 3 次元のプロセスシミュレーション方法を提供することにある。

【 0 0 1 5 】

本発明の他の目的は、薄膜化等による微細な領域でも、計算時間を短縮し、計算精度を高められる 2 次元および 3 次元のプロセスシミュレータを提供することにある。

【 0 0 1 6 】

本発明の他の目的は、薄膜化等による微細な領域でも、計算時間を短縮し、計

算精度を高められる 2 次元および 3 次元のプロセスシミュレーション方法を実現するプログラムを記録した記録媒体を提供することにある。

【 0 0 1 7 】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、本発明の第一の特徴は、物質領域中に節点を生成させる第 1 ステップと、プロセスのモデルに従ってこの節点の移動量を計算する複数の第 2 ステップと、この移動量を累積して累積移動量を求める第 3 ステップと、この累積移動量が許容移動量以上になると節点を累積移動量だけ移動し累積移動量をクリアーする第 4 ステップとを有するシミュレーション方法にある。ここで、移動量は座標成分毎に移動量成分として計算してもよい。このことにより、節点の移動量が許容移動量未満の場合には次回計算する移動量に足し込んで形状を処理するので、許容移動量未満の移動量による誤差の累積を無くすことができ、実際の形状移動に対する誤差が低減する。

【 0 0 1 8 】

本発明の第一の特徴は、物質領域が成長すると下地物質との界面の位置も変動し、物質領域が下地物質上に存在していない場合に、下地物質上に仮の物質領域を設ける第 5 ステップと、この仮の物質領域中に節点を生成させる第 6 ステップと、界面から仮の節点までの距離が同じで方向が逆の移動量を累積移動量に設定する第 7 ステップとをさらに有することにより一層効果的である。ここで、仮の物質領域とは、現実には存在しないが計算の都合上設定した領域のことである。このことにより、被酸化物質と酸化雰囲気の間には酸化膜が存在しない状態から酸化工程をシミュレーションする際に、あらかじめ許容移動量以上の膜厚となるように酸化膜領域を形成できる。そして、より具体的には、第 5 ステップにおいて仮の物質領域の厚さが 0 であり、第 6 ステップにおいて仮の物質領域の厚さが所望の厚さになるように仮の節点の移動量を計算して仮の節点を移動し、第 7 ステップにおいて仮の節点の累積移動量をクリアーし仮の節点の累積移動量に仮の節点の移動量に -1 を乗じた値を設定することにより実現可能である。

【 0 0 1 9 】

本発明の第一の特徴は、プロセスが酸化工程で、物質領域が酸化物で、下地物

質が被酸化物である場合に効果的である。このことにより、界面の変動を正確に算出できる。また、プロセスがシリサイド化で、物質領域がシリサイドで、下地物質がシリコンを主成分とする物質である場合も効果的である。ここで、シリサイドとはシリコンと金属の化合物のことである。シリサイド化とは、シリコンと金属を反応させシリサイドを合成する過程のことで、シリサイド化前の初期状態はシリコン上に金属が設けられている。このことにより、シリコンとシリサイドの界面の変動を正確に算出できる。

【 0 0 2 0 】

本発明の第二の特徴は、物質表面上のストリングに複数の境界点を生成させる第1ステップと、この境界点間の線分の第1の長さを求める第2ステップと、プロセスモデルに従って境界点の移動量を計算する第3ステップと、境界点をこの移動量だけ移動する第4ステップと、移動後の境界点間の線分の第2の長さを求める第5ステップと、第1の長さ第2の長さを参照して境界点の追加又は削除をする第6ステップとを有するシミュレーション方法にある。ここで、ストリングとはシミュレーション上の被観察面のことである。このことにより、保存していた線分の長さを参照して境界点移動後の線分を調節するので、使用者が線分を調節するための最大長と最小長を指定する必要がなくなり、更に、無駄な境界点が増えるという問題も回避できる。これにより、従来よりも計算時間を短縮し、計算精度の高い二次元及び三次元の形状シミュレーションが可能である。

【 0 0 2 1 】

本発明の第二の特徴は、第4ステップが、移動量を累積して累積移動量を求める第7ステップと、この累積移動量が許容移動量以上になると境界点を累積移動量だけ移動し累積移動量をクリアする第8ステップとをさらに有することにより一層効果的である。このことにより、許容移動量未満の移動量による誤差の累積を無くすことができ、実際の形状移動に対する誤差が低減する。

【 0 0 2 2 】

本発明の第二の特徴は、第6ステップが、第2の長さが第1の長さに1を超える第1の係数を掛けた値以上である場合に線分上に新たな境界点を追加する第9ステップと、新たな境界点で分割された新たな線分の第1の長さを求める第10

ステップとを備えることにより一層効果的である。このことにより、特に無駄な境界点が増えるという問題を回避できる。

【 0 0 2 3 】

本発明の第二の特徴は、第 1 の係数が 4 以下であることにより一層効果的である。このことにより、得られる形状の精度を許容レベルに保つ事ができる。

【 0 0 2 4 】

本発明の第二の特徴は、第 6 ステップが、第 2 の長さが第 1 の長さに 1 未満の第 2 の係数を掛けた値以下である場合に線分の一方の境界点を削除する第 1 1 ステップと、削除した境界点によらない新たな線分の第 1 の長さを求める第 1 2 ステップとを備えることにより一層効果的である。このことにより、計算の精度を落とすことなく、計算時間を削減することができる。

【 0 0 2 5 】

本発明の第二の特徴は、第 2 の係数が 0. 2 5 以上であることにより一層効果的である。このことにより、計算時間の削減の効果を一定以上に保つことができる。

【 0 0 2 6 】

本発明の第二の特徴は、第 1 の係数の逆数が第 2 の係数と一致することにより一層効果的である。このことにより、係数を 1 つにできるのでシミュレーションの最適化が容易である。

【 0 0 2 7 】

本発明の第三の特徴は、プロセスのモデルに従って節点の移動量を計算する節点移動量計算部と、この移動量を累積して累積移動量を求めこの累積移動量が許容移動量以上になると節点を累積移動量だけ移動し累積移動量をクリアする第 1 の節点移動部とを有するシミュレータにある。このことにより、許容移動量未満の移動量による誤差の累積を無くすことができ、実際の形状移動に対する誤差が低減する。

【 0 0 2 8 】

本発明の第三の特徴は、物質領域が成長すると下地物質との界面の位置も変動し、物質領域が下地物質上に存在していない場合に、下地物質上に仮の物質領域

を設け、仮の物質領域中に仮の節点を生成させ、界面から仮の節点までの距離が同じで方向が逆の移動量を累積移動量に設定する第2の節点移動部をさらに有することにより一層効果的である。このことにより、被酸化物質と酸化雰囲気の間
に酸化膜が存在しない状態から酸化工程をシミュレーションする際に、あらかじめ許容移動量以上の膜厚となるように酸化膜領域を形成できる。

【 0 0 2 9 】

本発明の第四の特徴は、プロセスモデルに従って境界点の移動量を計算する節点移動量計算部と、境界点をこの移動量だけ移動する節点移動部と、移動前後の境界点間の線分の長さを求める長さ計算部と、これら移動前後の長さを参照して前記境界点の追加又は削除をする調節部とを有するシミュレータにある。このことにより、保存していた線分の長さを参照して境界点移動後の線分を調節するので、使用者が線分を調節するための最大長と最小長を指定する必要がなくなり、更に、無駄な境界点が増えるという問題も回避できる。これにより、従来よりも計算時間を短縮し、計算精度の高い二次元及び三次元の形状シミュレーションが可能である。

【 0 0 3 0 】

本発明の第四の特徴は、節点移動部が、移動量を累積して累積移動量を求め、この累積移動量が許容移動量以上になると、境界点を累積移動量だけ移動し、累積移動量をクリアーすることにより一層効果的である。このことにより、節点の移動量が許容移動量未満の場合には次回計算する移動量に足し込んで形状を処理するので、許容移動量未満の移動量による誤差の累積を無くすことができ、実際の形状移動に対する誤差が低減する。

【 0 0 3 1 】

本発明の第四の特徴は、調節部が、移動後の長さが移動前の長さに1を超え4未満の第1の係数を掛けた値以上である場合に、線分上に新たな境界点を追加し、この新たな境界点で分割された新たな線分の長さを求めることにより一層効果的である。このことにより、物質領域の部分毎に必要な計算精度を保ちながら、計算精度の必要でない部分の計算時間の削減が可能である。特に、無駄な境界点が増えるという問題を回避できる。

【 0 0 3 2 】

本発明の第四の特徴は、調節部が、移動後の長さが移動前の長さに 0.25 を超え 1 未満の第 2 の係数を掛けた値以下である場合に、線分の一方の境界点を削除し、削除した境界点によらない新たな線分の長さを求めることにより一層効果的である。このことにより、物質領域の部分毎の必要な計算精度を保ちながら、計算精度の必要でない部分の計算時間の削減が可能である。

【 0 0 3 3 】

本発明の第五の特徴は、プロセスのモデルに従って物質領域中に生成させた節点の移動量を計算するステップと、この移動量を累積して累積移動量を求めるステップと、この累積移動量が許容移動量以上になると節点を累積移動量だけ移動し累積移動量をクリアするステップとを有するコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体にある。ここで、記録媒体としては、例えば半導体メモリ、磁気ディスク、光ディスク、磁気テープなどのプログラムを記録できるような媒体が含まれる。このことにより、節点の移動量が許容移動量未満の場合には次回計算する移動量に足し込んで形状を処理するので、許容移動量未満の移動量による誤差の累積を無くすことができ、実際の形状移動に対する誤差が低減する。

【 0 0 3 4 】

本発明の第五の特徴は、物質領域が成長すると下地物質との界面の位置も変動し、物質領域が下地物質上に存在していない場合に、下地物質上に設ける仮の物質領域の中に生成させた仮の節点から界面までの距離と方向が同じの移動量を累積移動量に設定するステップをさらに有することにより一層効果的である。このことにより、被酸化物質と酸化雰囲気の間には酸化膜が存在しない状態から酸化工程をシミュレーションする際に、あらかじめ許容移動量以上の膜厚となるように酸化膜領域を形成できる。

【 0 0 3 5 】

本発明の第六の特徴は、物質表面上に生成させた境界点間の線分の第 1 の長さを求める第 1 ステップと、プロセスモデルに従って境界点の移動量を計算する第 2 ステップと、境界点をこの移動量だけ移動する第 3 ステップと、移動後の境界

点間の線分の第2の長さを求める第4ステップと、第1の長さ第2の長さを参照して境界点の追加又は削除をする第5ステップとを有するコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体にある。このことにより、保存していた線分の長さを参照して境界点移動後の線分を調節するので、使用者が線分を調節するための最大長と最小長を指定する必要がなくなり、更に、無駄な境界点が増えるという問題も回避できる。これにより、従来よりも計算時間を短縮し、計算精度の高い二次元及び三次元の形状シミュレーションが可能である。

【 0 0 3 6 】

本発明の第六の特徴は、第3ステップが、移動量を累積して累積移動量を求める第6ステップと、この累積移動量が許容移動量以上になると境界点を累積移動量だけ移動し累積移動量をクリアする第7ステップとを有することにより一層効果的である。このことにより、節点の移動量が許容移動量未満の場合には次回計算する移動量に足し込んで形状を処理するので、許容移動量未満の移動量による誤差の累積を無くすことができ、実際の形状移動に対する誤差が低減する。

【 0 0 3 7 】

本発明の第六の特徴は、第5ステップが、第2の長さが第1の長さに1を超え4未満の第1の係数を掛けた値以上である場合に、線分上に新たな境界点を追加する第8ステップと、新たな境界点で分割された新たな線分の第1の長さを求める第9ステップとを有することにより一層効果的である。このことにより、物質領域の部分毎の必要な計算精度を保ちながら、計算精度の必要でない部分の計算時間の削減が可能である。特に、無駄な境界点が増えるという問題を回避できる。

【 0 0 3 8 】

本発明の第六の特徴は、第5ステップが、第2の長さが第1の長さに0.25を超え1未満の第2の係数を掛けた値以下である場合に、線分の方の境界点を削除する第10ステップと、削除した境界点によらない新たな線分の第1の長さを求める第11ステップとを有することにより一層効果的である。このことにより、物質領域の部分毎の必要な計算精度を保ちながら、計算精度の必要でない部

分の計算時間の削減が可能である。

【 0 0 3 9 】

【発明の実施の形態】

以下図面を参照して、本発明の実施の形態を説明する。以下の図面の記載において、同一又は類似の部分には同一又は類似の符号を付している。ただし、図面は模式的なものであり、現実のものとは異なることに留意すべきである。また図面相互間においても互いの寸法の関係や比率の異なる部分が含まれるのはもちろんである。また、説明を簡単にするために、解析領域は二次元であるとして、移動量成分は u_x (x 方向の移動量) と u_y (y 方向の移動量) として説明する。

【 0 0 4 0 】

図 1 は本発明に係るシミュレータの概略的な構成図である。本発明に係るシミュレータ 1 は、演算部 2、演算部 2 で実行するプログラムが記録されたプログラム記録部 3、全節点と全線分の計算に使用するデータ等を記録するデータ記録部 4、出力装置 6 と入力装置 7 とデータの受け渡しを行う入出力制御部 5 から構成されている。演算部 2 は、節点毎の移動量を計算する節点の移動量計算部 1 1、節点毎の移動量の基づいて節点を移動させる節点移動部 1 2、初期酸化時の節点の設定を行う節点移動部、節点間の線分の長さを計算する計算部 1 4 と計算した線分の長さから境界点を追加あるいは削除し長さを調節する調節部 1 5 から構成されている。さらに、線分の長さ調節部 1 5 は、境界点追加部 1 6 と境界点削除部 1 7 とから構成されている。詳細は以下の第 1 から第 3 の実施の形態のフローチャートによって説明する。

【 0 0 4 1 】

(第 1 の実施の形態)

第 1 の実施の形態では、熱酸化工程のシミュレーションに本発明を適用した場合の形状処理方法を説明する。第 1 の実施の形態では、図 1 の演算部 2 において、節点移動量計算部 1 1 と節点移動部 1 2 のみを使用する。

【 0 0 4 2 】

図 2 に本発明に係わる節点移動方法のフローチャートを示す。

【 0 0 4 3 】

まず、ステップ S 1 において、節点移動量計算部 1 1 で、物質領域中の全節点 N_0 から N_{n-1} までの移動量を各成分 u_x 、 u_y 毎に計算する。以下のステップ S 2 から S 8 までは節点移動部 1 2 で実行される。ステップ S 2 において、ステップ S 1 で計算した移動量成分を各成分毎に前回までに保存してある移動量成分に足す。各移動量成分の初期値は 0 にしておく。ステップ S 3 において、節点の識別番号 i に 0 を設定する。ステップ S 4 において、節点 N_0 の移動量 $\{\sqrt{(u_{x0}^2 + u_{y0}^2)}\}$ が許容移動量 (l_{tol}) 以上であるかを判断する。節点 N_0 の移動量が許容移動量以上の場合には、ステップ S 5 において、節点 N_0 を移動し、すなわち、節点 N_0 の位置座標の各成分毎に移動量成分を加える。そして、ステップ S 6 において、移動量成分 (u_{x0} 、 u_{y0}) をクリアーし、0 に設定する。節点 N_0 の移動量が許容移動量未満の場合には、節点 N_0 の移動は行わずに移動量成分を保存する。ステップ S 7 において、識別番号 i に 1 を加え識別番号を新たに 1 とする。ステップ S 8 において、識別番号 1 が識別番号の最大値 $n-1$ に 1 を加えた数 n より小さいか否かを判断する。小さい場合はステップ 4 を再度実行する。そしてこのループを識別番号 i が n になるまで繰り返す。ステップ S 7 において、識別番号 i が n になると、ステップ S 8 において、判断 NO と判断され節点移動方法のフローチャートが終了する。

【 0 0 4 4 】

(第 1 の実施の形態のシミュレーション例)

第 1 の実施の形態を、熱酸化工程のシミュレーションに適用した場合の形状処理方法を説明する。シミュレーション例では、図 3 (a) に示すように平坦な構造のシリコン基板 1 8 に予め熱酸化膜 1 9 が形成されている。この基板 1 8 を更に熱酸化する。なお、説明を簡単にするため、節点 2 0、2 1、2 2 と 2 3 は酸化膜領域 1 9 を構成する境界点のみに配置している。

【 0 0 4 5 】

まず図 2 のステップ S 1 において、酸化膜領域 1 9 の全節点 2 0、2 1、2 2 と 2 3 の移動量を各成分 u_x 、 u_y 毎に計算する。ステップ S 2 において、ステップ S 1 で計算した移動量成分を各成分毎に 0 に初期化された移動量成分に足す。ステップ S 3 において、節点の識別番号 i に 0 を設定する。ステップ S 4 におい

て、節点 N_0 （節点20とする）の移動量 $\{\sqrt{(u_{x0}^2 + u_{y0}^2)}\}$ が許容移動量 (l_{tol}) 以上であるかを判断する。許容移動量としては例えば、0.05 nm とする。節点20の移動量が数値計算誤差により0.05 nmよりわずかに小さい場合、許容移動量未満になるので、図3（b）のように節点20の移動は行わずに、移動量成分を保存する。ステップS7において、識別番号 i に1を加え識別番号を新たに1とする。ステップS8において、識別番号1が、全節点の個数である識別番号の最大値3に1を加えた数4より小さいか否かを判断する。小さいのでステップ4を再度実行する。

【0046】

ステップS4において、節点 N_1 （節点21とする）の移動量が許容移動量 (l_{tol}) 以上であるかを判断する。節点21の移動量が許容移動量以上なので、ステップS5において、図3（b）のように節点 N_2 を移動する。実際には、節点 N_2 の位置座標の各成分毎に移動量成分を加える。そして、ステップS6において、移動量成分をクリアーし、0に設定する。ステップS7において、識別番号 i に1を加え識別番号を新たに2とする。ステップS8において、識別番号2が4より小さいか否かを判断する。小さいのでステップ4を再度実行する。節点 N_2 である節点22も、節点 N_3 である節点23も、節点21の場合と同じループで処理する。節点23の移動量は数値計算誤差により0.05 nmよりわずかに大きく、基準面24より下方に0.05 nmよりわずかに大きく節点23は移動する。最後にステップS7において、識別番号 i が4になると、ステップS8において、判断NOと判断され節点移動方法のフローチャートが終了する。この結果、図3（b）に示すようにシリコン基板18と酸化膜19の界面が平坦でなくなる。

【0047】

次に、得られた図3（b）の形状を基に再度図2のフローチャートを実行する。まずステップS1において、全節点20、21、22と23の移動量を計算する。ステップS2において、ステップS1で計算した移動量成分を前回のフローで保存されたあるいはクリアーされた移動量成分に足す。ステップS3において、節点の識別番号 i に0を設定する。ステップS4において、節点 N_0 （節点2

0) の移動量が許容移動量 (1_{tol}) 以上であるかを判断する。節点 20 の移動量は、前回保存された 0.05 nm よりわずかに小さい値に、同程度の大きさの値が加えられ、 0.1 nm 前後の値である。節点 20 の移動量が許容移動量以上なので、ステップ S5 において、図 3 (c) のように節点 20 を移動する。そして、ステップ S6 において、移動量成分をクリアーする。ステップ S7 において、識別番号 i に 1 を加え識別番号を新たに 2 とする。ステップ S8 において、識別番号 2 が 4 より小さいか否かを判断する。小さいのでステップ 4 を再度実行する。

【 0 0 4 8 】

ステップ S4 において、節点 N_1 (節点 21 とする) の移動量が許容移動量 (1_{tol}) 以上であるかを判断する。節点 21 の移動量が許容移動量以上なので、ステップ S5 において、図 3 (c) のように節点 21 を移動する。ステップ S6 において、移動量成分をクリアーする。ステップ S7 において、識別番号 i に 1 を加え識別番号を新たに 2 とする。ステップ S8 において、識別番号 2 が 4 より小さいか否かを判断する。小さいのでステップ 4 を再度実行する。節点 N_2 である節点 22 も、節点 N_3 である節点 23 も、節点 21 の場合と同じループで処理する。節点 23 の移動量は 0.05 nm よりわずかに大きく、節点 23 は下方に 0.05 nm よりわずかに大きく移動する。基準面 24 より下方に 0.1 nm よりわずかに大きい位置に配置される。最後にステップ S7 において、識別番号 i が 4 になると、ステップ S8 において、判断 NO と判断され節点移動方法のフローチャートが終了する。この結果、図 3 (c) に示すようにシリコン基板 18 と酸化膜 19 の界面が平坦になる。

【 0 0 4 9 】

すなわち節点 20 の移動量成分を保存しているので、図 3 (b) に示す状態で酸化した時、節点 20 の移動量成分は前回までの移動量成分を足し込んだものとなり、図 3 (c) に示すように数値計算誤差の影響をなくせる。また、本発明によれば、数値計算誤差を低減するために時間刻み幅を小さくしても酸化膜領域 19 が形成できないという問題は生じない。

【 0 0 5 0 】

(第 2 の実施の形態)

第 2 の実施の形態でも、第 1 と同様に熱酸化工程のシミュレーションに本発明を適用した場合の形状処理方法を説明する。そして、本発明を、酸化膜の形成されていない状態からの熱酸化工程に適用する。第 2 の実施の形態では、図 1 の演算部 2 において、節点移動量計算部 1 1 と節点移動部 1 2 と、新たに初期酸化における節点移動部 1 3 を使用する。

【 0 0 5 1 】

図 4 に本発明に係わる初期酸化膜形成における節点移動方法のフローチャートを示す。まず、ステップ S 1 1 において、シリコン基板が酸化雰囲気に着しているかを判断する。シリコン基板が酸化雰囲気に着しておらず、シリコン基板と酸化雰囲気の間には酸化膜が存在する場合には、ステップ S 1 6 及び S 1 7 において、最初のタイムステップ分の移動量成分を計算し、全ての節点を移動する。ステップ S 1 1 においてシリコン基板が酸化雰囲気に着している場合には、ステップ S 1 2 において、シリコン基板と酸化雰囲気との間に膜厚が 0 の酸化膜領域を形成し、酸化膜領域の周囲に節点を生成させる。ステップ S 1 3 において、生成させた節点の移動量成分をクリアする。次に、ステップ S 1 4 において、酸化膜領域中の節点のうち、シリコン基板と酸化膜の界面における節点を $(T_{ox} \times n_x, T_{ox} \times n_y)$ だけ移動する。ここで、 T_{ox} は酸化膜厚、 (n_x, n_y) は節点の界面に対する単位法線ベクトルを意味し、ベクトルの方向は酸化膜からシリコン基板方向とする。 T_{ox} は使用者が指定した許容移動量以上の値もしくは酸化膜のモノレイヤー (mono-layer) 幅とすれば良い。ステップ S 1 5 において、界面の節点に移動量成分として $(-T_{ox} \times n_x, -T_{ox} \times n_y)$ を設定する。最後に、上記と同様にステップ S 1 6 及び S 1 7 において、最初のタイムステップ分の移動量成分を計算し、全ての節点を移動する。

【 0 0 5 2 】

なお、ステップ S 1 6 の移動量成分の計算には、図 2 のステップ S 1 が適用し、ステップ S 1 7 の節点の移動には図 2 のステップ S 2 から S 8 までフローを適用する。すなわち、ステップ S 1 6 で計算した移動量の絶対値が保存してある移動量の絶対値より小さい場合には、ステップ S 1 7 での節点移動は行わない。ま

た、ステップ S 1 1 から S 1 5 までは、初期酸化における節点移動部 1 3 が実行し、ステップ S 1 6 を、節点移動量計算部 1 1 が実行し、ステップ S 1 7 を節点移動部 1 2 が実行している。

【 0 0 5 3 】

(第 2 の実施の形態のシミュレーション例)

第 1 の実施の形態と同様に、熱酸化工程のシミュレーションに適用した場合の形状処理方法を説明する。シミュレーション例では、図 5 (a) に示すように平坦な構造のシリコン基板 1 8 が酸化雰囲気 9 に曝されている。以下、この基板 1 8 を雰囲気 9 によって熱酸化し、初期酸化膜を形成する。

【 0 0 5 4 】

まず図 4 のステップ S 1 1 において、シリコン基板 1 8 が酸化雰囲気 9 に接しているか判断する。図 5 (a) に示すように酸化雰囲気 9 に接しているので、ステップ S 1 2 に進む。ステップ S 1 2 において、膜厚が 0 の酸化膜領域 1 9 を生成させる。具体的には、図 5 (b) のように節点 2 0、2 1、2 2 と 2 3 を生成させ、さらに、節点 2 0 と 2 1 の距離と、節点 2 3 と 2 2 の距離が 0 になるように、節点 2 1 の上に節点 2 0 を重ね、節点 2 2 の上に節点 2 3 を重ねる。ステップ S 1 3 において、生成させた節点の移動量成分をクリアーする。次に、ステップ S 1 4 において、図 5 (b) のように界面における節点 2 0 と 2 3 を下方に酸化膜厚 T_{ox} だけ移動する。 T_{ox} は図 2 と同じ許容移動量以上とすれば良い。このことにより、評価可能な最小膜厚である許容移動量の膜厚を有する膜が、基板表面にあたかもあるかのように計算ができる。さらに、ステップ S 1 5 において、節点 2 0 と 2 3 の移動量成分として $-T_{ox}$ を設定する。一方、節点 2 1 と 2 2 の移動量成分は 0 のままである。最後に、ステップ S 1 6 及び S 1 7 において、図 2 のステップ S 1 から S 8 までのフローを実施し、図 5 (c) のような形状が得られる。図 3 (c) と同様に、平坦な界面が得られる。

【 0 0 5 5 】

なお、第 2 の実施の形態では、シリコン基板 1 8 が酸化雰囲気 9 に接している場合、シリコン基板 1 8 側に酸化膜厚 T_{ox} 分を移動することによって初期酸化膜を形成したが、酸化膜形成時のシリコンが消費される分を α とし、図 5 (d) の

ようにシリコン基板 1 8 側に $\alpha \times T_{ox}$ 、酸化雰囲気 9 側に $(1 - \alpha) \times T_x$ 移動して酸化膜領域 1 9 を形成することも可能である。この場合、節点 2 0 と 2 3 には移動量成分 $(0, \alpha \times T_{ox})$ 、節点 2 1、2 2 には移動量成分 $(0, -(1 - \alpha) \times T_{ox})$ を設定する。また、本発明は、酸化工程以外の最初存在しないものが発生する膜やワイヤーやドット形状のシミュレーションにも容易に適用できる。

【 0 0 5 6 】

(第 3 の実施の形態)

第 3 の実施の形態では、デポジション工程のシミュレーションに適用した場合の形状処理方法を説明する。第 3 の実施の形態では、図 1 の演算部 2 において、節点移動量計算部 1 1、節点移動部 1 2 と初期酸化における節点移動部 1 3 に加えて、新たに、線分の長さ計算部 1 4 と、線分の長さ調節部 1 5 の境界点追加部 1 6 と境界点削除部 1 7 を使用する。

【 0 0 5 7 】

エッチングやデポジション工程などの半導体素子形状を計算する形状シミュレーションでは、まず、2 次元断面の表面形状を複数の線分 s が連なったもので近似的に表す。次に、その線分 s 同士の節点 N を境界点 P として、各々のプロセスモデルに従って微少な時間刻みごとに境界点 P を移動させ、形状の時間的変化を計算する。この時、重要となる形状処理技術として、第 1 第 2 の実施の形態で述べた節点 N の移動だけでなく、線分 s の長さを調節する技術、すなわち、節点 N を追加及び削除する技術が必要となる。

【 0 0 5 8 】

図 6 に本発明の第 3 の実施の形態に係る線分の長さを調節する方法を有する形状シミュレーション方法のフローチャートを示す。まず、ステップ S 2 1 において、移動量計算のステップ数 n_{loop} として境界点 P を移動させるループの回数と、現在のステップ数 j として 0 を設定する。次に、ステップ S 2 2 において、図 1 の線分の長さ計算部 1 4 で、ストリングを構成する少なくとも一つ以上の線分 s の長さ l を計算し保存する。ステップ S 2 3 において、現在のステップ数 j に 1 を加え、ステップ数を 1 とする。ステップ S 2 4 において、図 2 のステップ S

1と同様に境界点Pの移動量成分を計算する。ステップS25において、図2のステップS2からS8までと同様に境界点Pを移動する。ステップS26において、線分sの長さを調節する。上記処理を移動量計算のステップ数jが n_{loop} になるまで繰り返す。

【0059】

図7は、図6のステップS26において線分sの長さrを調節するために境界点Pを追加する内部フローを示すフローチャートである。まず、ステップS31において、図1の線分の長さ計算部14で、境界点P移動後の線分sの長さを計算する。以下のステップS32からS37までは図1の境界点追加部16で実行される。ステップS32において、線分sの識別番号iに1を設定する。ステップS33において、境界点Pの移動後の線分 s_1 の長さ r_1 が保存してある移動前の長さ l_1 に係数 α を掛けた値 $\alpha \times l_1$ 以上であるかを判断する。 $r_1 \geq \alpha \times l_1$ である場合には、ステップS34において、線分 s_1 上に新たな境界点Pを追加し、ステップS35において、線分 s_1 を分割してできた2つの線分sに対してそれぞれの長さlを保存する。ステップS36において、識別番号iに1を加え番号iに2を設定する。一方、 r_1 が $\alpha \times l_1$ より小さいときはステップS34とS35を実行せずに、ステップS36を実行する。以上のステップS33からS36までの処理を線分sの識別番号iが $m-1$ になるまで繰り返す。

【0060】

ここで係数 α は、1より大きく設定する。このことにより、境界点Pの間隔が広がり詳細な形状が得難い時に間隔を詰めるべく新たな境界点を設けるという目的を達成できる。また、線分sを新たな境界点で2分割するのであるから、当初の線分の長さ程度に保つためには、係数 α は2前後である事が好ましい。一方、係数 α が4を超えると詳細な形状を得るという本来の目的が達せられなくなる。そして、2から1に近づく程、シミュレーションの精度が向上すると考えられる。ただし、計算時間は長くなると考えられる。

【0061】

図8も、図7と同様に図6のステップS26において線分sの長さrを調節するために境界点Pを削除する内部フローを示すフローチャートである。まず、ス

テップ S 4 1 において、図 1 の線分の長さ計算部 1 4 で、境界点 P の移動後の線分 s の長さ r を計算する。以下のステップ S 4 2 から S 4 9 までは図 1 の境界点削除部 1 7 で実行される。ステップ S 4 2 において、線分 s の識別番号 i に 1 を設定する。ステップ S 4 3 において、境界点 P の移動後の線分 s_1 の長さ r_1 が保存してある移動前の長さ l_1 に係数 β を掛けた値 $\beta \times l_1$ 以下であるかを判断する。 $r_1 \leq \beta \times l_1$ である場合には、ステップ S 4 4 において、線分 s_1 を構成する境界点 P の一方を削除して新たな線分 s'_1 を作成し、ステップ S 4 5 において、線分 s'_1 の長さ l_1 を保存する。次に、ステップ S 4 6 及び S 4 7 において、削除した境界点 P が線分 s_1 と s_2 の共通の境界点 P である場合には、 s_2 を s'_1 とする。ステップ S 4 8 において、識別番号 i に 1 を加え番号 i に 2 設定する。一方、 r_1 が $\beta \times l_1$ より大きいときはステップ S 4 4 から S 4 7 までを実行せずに、ステップ S 4 8 を実行する。また、削除した境界点 P が線分 s_1 と s_2 の共通の境界点 P でない場合は、ステップ S 4 7 を実行せずに、ステップ S 4 8 を実行する。以上のステップ S 4 3 から S 4 8 までの処理を線分 s の識別番号 i が $m-1$ になるまで繰り返す。

【 0 0 6 2 】

ここで係数 β は、1 より小さく設定する。このことにより、境界点 P の間隔が狭まり欲しい形状を得るために必要以上の計算は省きたいという目的を達成できる。また、2 つの線分 s を 1 つの線分 s にするのであるから、当初の線分の長さ以上に保つためには、係数 β は 0.5 前後であることが好ましい。一方、係数 β が 0.25 未満になると計算時間の短縮という本来の目的が達せられなくなる。そして、0.5 から 1 に近づく程、計算時間は短縮すると考えられる。逆に 0.5 に近づく程、シミュレーションの精度は向上すると考えられる。なお、 β を α の逆数とすれば変数を減らすことができる。

【 0 0 6 3 】

図 9 は本発明の第 3 の実施の形態に係るシミュレーション方法において使用するデータの構造図である。データ構造は、全ての境界点と線分の識別番号が入力可能な境界点の識別番号データ領域 4 1 と、識別番号に対応して境界点の位置座標が入力可能な位置座標データ領域 4 2 と、識別番号に対応して境界点の移動量

が設定座標成分毎に入力可能な境界点の移動量データ領域 4 3 と、識別番号に対応して移動前の線分の長さが入力可能な移動前の線分の長さデータ領域 4 4 と、識別番号に対応して移動後であり長さ調節前である線分の長さが入力できる移動後の線分の長さデータ領域 4 5 と、識別番号に対応して長さ調節後の線分の長さが入力できる線分の長さデータ領域 4 6 とで構成される。

【 0 0 6 4 】

図 2、図 4 と図 6 乃至 8 にフローチャートで示した一連の処理はコンピュータに実行させるためのプログラムとしてコンピュータ読取り可能な記録媒体に記録されている。また、コンピュータに演算させるデータを有した図 9 のデータ構造がコンピュータ読取り可能な記録媒体に記録されている。そのプログラムが図 1 のプログラム記録部 3 に入っており、データ構造がデータ記録部 4 に入っている。ここで、記録媒体としては、例えば半導体メモリ、磁気ディスク、光ディスク、磁気テープなどのプログラムを記録できるような媒体が含まれる。

【 0 0 6 5 】

図 1 0 はこれら本発明の実施の形態に係る記録媒体に格納されたプログラム等を読み取り、そこに記述された手順に従って形状シミュレーションを行うコンピュータシステムの一例を示す外觀図である。このコンピュータシステム 3 0 の本体前面には、フロッピーディスクドライブ 3 1、および CD-ROM ドライブ 3 2 が設けられており、フロッピーディスク 3 3、または CD-ROM 3 4 を各ドライブ入口から挿入し、所定の読み出し操作を行う事により、これらの記録媒体に格納されたプログラムをシステム内にインストールすることができる。さらに、所定のドライブ装置を接続することにより、例えばゲームパックなどに使用されている半導体メモリとしての ROM 3 5 や、磁気テープとしてのカセットテープ 3 6 を用いることもできる。

【 0 0 6 6 】

(第 3 の実施の形態のシミュレーション例 1)

第 3 の実施の形態を、金属酸化物半導体構造の電界効果トランジスタ (MOS FET) の側壁形成のためのシリコン窒化膜の成膜工程のシミュレーションに適用した場合の形状処理方法を説明する。シミュレーション例では、図 1 1 (a)

に示すように平坦なシリコン基板 1 8 上にゲート酸化膜となる熱酸化膜 1 9 が設けられ、膜 1 9 の上にゲート電極となるポリシリコン 2 5 が設けられている。四角 2 6 は今回計算を行ったシミュレーション領域である。図 1 1 (b) は (a) の基板 1 8、膜 1 9 とポリシリコン 2 5 の露出面にシリコン窒化膜 2 7 を成膜している。以下ではこの成膜の工程をシミュレーションし、領域 2 6 に生成する膜 2 6 の形状を求める。

【 0 0 6 7 】

シミュレーションに用いるフローチャートは図 2、6 と 7 である。図 6 のチャートメインルーチンとして使用し、図 2 と 7 をサブルーチンとして使用する。まず、図 6 のステップ S 2 1 において、移動量計算のステップ数 n_{loop} として 3 回と、現在のステップ数 j として 0 を設定する。

【 0 0 6 8 】

次に、ステップ S 2 2 において、図 1 2 の実線を□でつなぐストリングを生成する。実線の位置はポリシリコン 2 5 の表面と一致させる。□が境界点 P を表し、境界点 P には順に識別番号 0 乃至 6 がふられる。境界点 P は形状の変化が著しいと思われる実線上に密度を高く配置する。例 1 ではポリシリコンの角の付近に境界点 P を多く配置している。境界点 P の間の実線が線分 s になる。線分 s にも順に識別番号 1 乃至 6 がふられる。6 つの線分 s それぞれの長さ l_1 乃至 l_6 を計算し保存する。この時、データは図 1 3 のようにデータ構造内に納められる。領域 4 1 には識別番号が 0 から 6 まで設けられる。領域 4 2 には番号に対応するように境界点 P 毎の位置座標 (x 、 y) が各成分毎に入力されている。領域 4 4 には線分 s の番号に対応するように長さ l_1 乃至 l_6 が入力されている。なお、領域 4 3 では移動量が累積されるので、領域内全ての移動量成分をリセットして 0 にしておく。

【 0 0 6 9 】

ステップ S 2 3 において、現在のステップ数 j に 1 を加え、ステップ数を 1 とする。ステップ S 2 4 において、境界点 P_1 乃至 P_6 の移動量成分 U_x と U_y を計算する。図 1 4 に示すように領域 4 3 の各番号各成分毎に、すでにリセットされている 0 に計算した移動量成分を加える。ステップ S 2 5 において、図 2 のステ

ップ S 2 から S 8 までと同様に境界点 P を移動する。この例 1 では、境界点 P_1 乃至 P_6 の移動量が許容移動量 (l_{tol}) より大きいので、境界点 P_1 乃至 P_6 は図 1 2 の矢印の様に移動し Δ 印を得る。データ構造においては図 1 4 で各番号各成分毎に位置座標成分に移動量成分を加える。具体的に番号 0 の位置座標 x の場合は、 $x_0 + u_{x0} = x'_0$ の計算を行い、得られた x'_0 を図 1 5 の様に新たに番号 0 で位置座標 x の領域に設定する。なお、上記の処理は図 2 のステップ S 5 によるものだが、引き続きステップ S 6 で図 1 5 のように領域 4 3 をクリアーして 0 を設定する。

【 0 0 7 0 】

図 6 のステップ S 2 6 において、線分 s の長さを調節する。長さの調節には図 7 の境界点を追加するためのフローチャートを用いる。ステップ S 3 1 において境界点 P 移動後の線分 s_1 乃至 s_6 の長さ r_1 乃至 r_6 を計算する。そして、図 1 5 の領域 4 5 に長さ r_1 乃至 r_6 を配列する。ステップ S 3 2 において、線分 s の識別番号 i に 1 を設定する。ステップ S 3 3 において、長さ r_1 が移動前の長さ l_1 に係数 α を掛けた値 $\alpha \times l_1$ 以上であるかを判断する。この例 1 では α を 1. 8 とした。 $r_1 \geq \alpha \times l_1$ ではないので、次にステップ S 3 6 を実行し、識別番号 i が 2 になる。ステップ S 3 7 においてステップ S 3 3 にもどる。以上のステップ S 3 3 から S 3 6 までの処理を線分 s の識別番号 i が 6 になるまで繰り返す。

【 0 0 7 1 】

この例 1 で $r \geq \alpha \times l$ である場合が識別番号 i が 3 と 4 の場合である。例えば番号 i が 3 の場合は、ステップ S 3 3 において YES となり、ステップ S 3 4 において、図 1 2 のように線分 s_3 上に新たな境界点 P_3 を追加し、ステップ S 3 5 において、線分 s_1 を分割してできた 2 つの線分 s のそれぞれの長さ l'_3 と l'_4 を保存する。データ構造においては図 1 6 のように新たな P_3 の座標 x'_7 、 y'_7 を生成させ、番号 3 の位置座標の領域に挿入する。その挿入の際に、番号 3 以降の位置座標の領域を番号 4 以降にシフトさせる。長さ l'_3 と l'_4 を領域 4 6 に配置する。同様な処理を線分 s_4 に対して実施し、図 1 2 の点線と図 1 6 のデータ構造が得られる。最後に領域 4 6 のデータを領域 4 4 に上書きし、図 1 3 のデータ構造と状態を等しくする。

【 0 0 7 2 】

図 6 のステップ S 2 6 を終了しステップ S 2 7 において、現在のステップ数 1 がステップ数 n_{loop} の 3 回に達したか判断する。達していないのでステップ S 2 3 に戻りステップ数 j に 2 を設定する。以下ステップ S 2 4、S 2 5、S 2 6 を $j = 1$ の時と同様に実行し図 1 7 の口と○でつなげられた実線の線分を得る。最後に j を 3 に設定して $j = 1$ の時と同様に実行し図 1 8 の△でつなげられた点線の線分を得る。この点線の線分が求める図 1 1 (b) の膜 2 7 の形状である。なお、 j の変化は膜 2 7 の堆積時の時間の推移を表し、 j 毎に得られた線分を連ねたストリングはその j に対応した時間における形状を表す。本発明を適用することにより、境界点移動後の線分の長さを最適に調節することができ、ゲートポリシリコンのコーナー部分における窒化膜 2 7 の形状を精度良くシミュレーションできている。

【 0 0 7 3 】

(第 3 の実施の形態のシミュレーション例 2)

第 3 の実施の形態を、シリコン基板に設けられた溝に、シリコン酸化膜を堆積する工程のシミュレーションに適用した場合の形状処理方法を説明する。シミュレーション例 2 では、図 2 6 (a) に示すように、シリコン基板 5 2 に溝 5 9 が形成されている。四角 6 0 は今回計算を行ったシミュレーション領域である。図 2 6 (b) は溝 5 9 内面も含めた基板 5 2 表面にシリコン酸化膜 6 1 を堆積によって成膜する。以下ではこの成膜の工程をシミュレーションし、領域 6 0 に生成する膜 6 1 の形状を求める。

【 0 0 7 4 】

シミュレーションに用いるフローチャートは図 2、6、7 と 8 である。図 6 のチャートをメインルーチンとして使用し、図 2、7 と 8 をサブルーチンとして使用する。なお、この例 2 では長さの調節に図 7 と図 8 のフローチャートを使用するので、図 7 と図 8 のフローチャートを融合させたチャートを用いてもよい。すなわち図 7 のステップ S 3 1、S 3 2、S 3 6、S 3 7 と、図 8 のステップ S 4 1、S 4 2、S 4 8、S 4 9 を一本化し、ステップ S 3 1、S 3 2、S 3 6、S 3 7 とする。そして、図 7 のステップ S 3 3 と図 8 のステップ S 4 3 の場合分

けを統合し 3 つに場合分けする。第 1 の場合は、ステップ S 3 3 の Y E S の場合で、この場合ステップ S 3 4、S 3 5、S 3 6 の順に実行する。第 2 の場合は、ステップ S 4 3 が Y E S の場合で、この場合ステップ S 4 4、S 4 5、S 4 6、S 4 7、S 3 6 の順に実行する。最後に第 3 の場合は、ステップ S 3 3 でも S 4 3 でも N O の場合で、この場合ステップ S 3 6 を実行することになる。

【 0 0 7 5 】

まず、図 6 のステップ S 2 1 において、移動量計算のステップ数 n_{loop} として 1 回と、現在のステップ数 j として 0 を設定する。

【 0 0 7 6 】

次に、ステップ S 2 2 において、図 1 9 の実線を口でつなぐストリングを生成する。実線の位置は基板 5 2 の表面と一致させる。口が境界点 P を表し、境界点 P には順に識別番号 0 乃至 1 6 がふられる。境界点 P は形状の変化が著しいと思われる溝 5 9 の側面とその近傍の実線上に密度を高く配置する。逆に、境界点 P 0 と P 1 の間と P 15 と P 16 の間の形状は、境界点 P 0、P 1、P 15 と P 16 の移動量から予測可能と考え、境界点 P 0 と P 1 の間と P 15 と P 16 の間に節点を配置しない。このことで計算時間を短縮する事が期待される。境界点 P の間の実線が線分 s になる。線分 s にも順に識別番号 1 乃至 1 6 がふられる。1 6 本の線分 s それぞれの長さ l_1 乃至 l_{16} を計算し保存する。

【 0 0 7 7 】

ステップ S 2 3 において、現在のステップ数 j に 1 を加え、ステップ数を 1 とする。ステップ S 2 4 において、境界点 P_1 乃至 P_{16} の移動量成分 U_x と U_y を計算する。ステップ S 2 5 において、図 2 のステップ S 2 から S 8 までと同様に境界点 P を移動する。この例では、境界点 P_1 乃至 P_{16} の移動量が許容移動量 (l_{tol}) より大きいので、境界点 P_1 乃至 P_{16} は図 1 9 の矢印の様に移動し Δ 印を得る。

【 0 0 7 8 】

図 6 のステップ S 2 6 において、線分 s の長さを調節する。長さの調節には上記の図 7 と 8 を融合したフローチャートを用いる。ステップ S 3 1 において境界点 P 移動後の線分 s_1 乃至 s_{16} の長さ r_1 乃至 r_{16} を計算する。ステップ S 3 2 に

において、線分 s の識別番号 i に 1 を設定する。ステップ S 3 3 及び S 4 3 において、長さ r_1 が $\alpha \times l_1$ 以上である第 1 の場合か、あるいは $\beta \times l_1$ 以下である第 2 の場合か、さらにはどちらでも無い第 3 の場合かを判断する。この例では α を 1. 2 とし、 β を 0. 5 としている。 r_1 は第 3 の場合に属するので、次にステップ S 3 6 を実行し、識別番号 i が 2 になる。ステップ S 3 7 においてステップ S 3 3 にもどる。以上のステップ S 3 3 から S 3 6 までの処理を線分 s の識別番号 i が 16 になるまで繰り返す。

【0079】

この例 2 で長さ r が $\alpha \times l$ 以上である第 1 の場合は、識別番号 i が 13 と 14 の場合である。例えば番号 i が 13 の場合は、図 7 のステップ S 3 3 において YES となり、ステップ S 3 4 において、図 19 のように線分 s_{13} 上に新たな境界点 28 を追加し、ステップ S 3 5 において、線分 s_{13} を分割してできた 2 つの線分 s のそれぞれの長さを保存する。

【0080】

この例 2 で長さ r が $\beta \times l$ 以下である第 2 の場合は識別番号 i が 3 と 4 の場合である。例えば番号 i が 3 の場合は、図 8 のステップ S 4 3 において YES となり、ステップ S 4 4 において、線分 s_3 を構成する境界点 P_3 を削除して新たな線分 s'_3 を作成し、ステップ S 4 5 において、線分 s'_3 の長さ l_3 を保存する。次に、ステップ S 4 6 及び S 4 7 において、削除した境界点 P_3 が線分 s_3 と s_4 の共通の境界点 P である場合には、 s_4 を s'_3 とする。

【0081】

図 6 のステップ S 2 6 を終了しステップ S 2 7 において、現在のステップ数 1 がステップ数 n_{loop} の 1 回に達したか判断する。達しているので図 6 のフローを終了する。最後に図 19 の Δ と \bigcirc でつなげられた点線の線分を得る。この点線の線分が求める図 26 (b) の膜 61 の形状である。

【0082】

図 19 に示すように、図 27 の境界点 62 と 64 が図 19 では発生しない。このことから計算時間を短縮することができる。一方、図 27 の線分 s_{13} 上に発生しなかった境界点を図 19 では境界点 28 として発生させることができる。こ

のことから、形状の精度を上げる事ができる。しかも、時間の短縮と精度の向上を同時に実現している。

【 0 0 8 3 】

(その他の実施の形態)

上記のように、本発明は第 1 から第 3 の実施の形態によって記載したが、この開示の一部をなす論述及び図面はこの発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者には様々な代替実施の形態、実施例及び運用技術が明らかになろう。

【 0 0 8 4 】

第 3 の実施の形態では、境界点の追加及び削除を行うことにより作成した新たな線分に対して保存していた線分の長さを再設定するとしたが、作成した新たな線分の長さを計算し、計算した値を設定して線分の長さを調節することにより計算精度を向上することも可能である。また、三次元の場合には線分の長さの代わりに、多角形の面積を用いれば良い。また、デポジション工程以外の形状シミュレーションにも容易に適用できる。

【 0 0 8 5 】

この様に、本発明はここでは記載していない様々な実施の形態等を包含するということを理解すべきである。したがって、本発明はこの開示から妥当な特許請求の範囲に係る発明特定事項によってのみ限定されるものである。

【 0 0 8 6 】

【発明の効果】

以上述べたように、本発明によれば、薄膜化等による微細な領域でも、計算時間を短縮し、計算精度を高められる 2 次元および 3 次元のプロセスシミュレーション方法を提供することができる。

【 0 0 8 7 】

本発明によれば、薄膜化等による微細な領域でも、計算時間を短縮し、計算精度を高められる 2 次元および 3 次元のプロセスシミュレータを提供することができる。

【 0 0 8 8 】

本発明によれば、薄膜化等による微細な領域でも、計算時間を短縮し、計算精度を高められる２次元および３次元のプロセスシミュレーション方法を実現するプログラムを記録した記録媒体を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】

本発明の実施の形態に係るシミュレータの概略的な構成図である。

【図２】

本発明の第１の実施の形態に係るシミュレーション方法のフローチャート図である。

【図３】

本発明の第１の実施の形態に係り、シリコン基板を熱酸化した際の熱酸化膜の形状のシミュレーション方法を説明するシリコン基板の断面図である。

【図４】

本発明の第２の実施の形態に係るシミュレーション方法のフローチャート図である。

【図５】

本発明の第２の実施の形態に係り、シリコン基板を熱酸化した際の熱酸化膜の形状のシミュレーション方法を説明するシリコン基板の断面図である。

【図６】

本発明の第３の実施の形態に係るシミュレーション方法のフローチャート図である。

【図７】

図６のステップＳ２６の内部のフローである境界点の追加を示すフローチャート図である。

【図８】

図６のステップＳ２６の内部のフローである境界点の削除を示すフローチャート図である。

【図９】

本発明の第３の実施の形態に係るシミュレーション方法において使用するデー

タの構造図である。

【図 1 0】

本発明の実施の形態に係る記録媒体とコンピュータシステムの関係を示す外観図である。

【図 1 1】

本発明の第 3 の実施の形態に係るシミュレーション方法を適用した MOS FET のゲート電極の周囲に成膜したシリコン窒化膜（実施例 1）の状況を説明する図である。

【図 1 2】

実施例 1 のシリコン窒化膜のシミュレーション方法を説明する図（その 1）である。

【図 1 3】

実施例 1 のシリコン窒化膜のシミュレーション方法を説明するためにデータ構造内の変化を示す図（その 1）である。

【図 1 4】

実施例 1 のシリコン窒化膜のシミュレーション方法を説明するためにデータ構造内の変化を示す図（その 2）である。

【図 1 5】

実施例 1 のシリコン窒化膜のシミュレーション方法を説明するためにデータ構造内の変化を示す図（その 3）である。

【図 1 6】

実施例 1 のシリコン窒化膜のシミュレーション方法を説明するためにデータ構造内の変化を示す図（その 4）である。

【図 1 7】

実施例 1 のシリコン窒化膜のシミュレーション方法を説明する図（その 2）である。

【図 1 8】

実施例 1 のシリコン窒化膜のシミュレーション方法を説明する図（その 3）である。

【図 1 9】

実施例 2 のトレンチの内部に成膜したシリコン酸化膜の形状に適用した本発明の第 3 の実施の形態に係るシミュレーション方法を説明する図である。

【図 2 0】

シミュレーション方法で用いる言葉を説明する図である。

【図 2 1】

従来の形状処理のシミュレーション方法のフローチャート図（その 1）である。

【図 2 2】

従来のシリコン基板を熱酸化した際の熱酸化膜の形状のシミュレーション方法を説明するシリコン基板の断面図である。

【図 2 3】

従来の形状処理のシミュレーション方法のフローチャート図（その 2）である。

【図 2 4】

従来の形状処理のシミュレーション方法のフローチャート図（その 3）である。

【図 2 5】

従来の形状処理のシミュレーション方法のフローチャート図（その 4）である。

【図 2 6】

シミュレーション方法を適用したトレンチの内部に成膜したシリコン酸化膜の状況を説明する図である。

【図 2 7】

従来のシミュレーション方法をトレンチの内部に成膜したシリコン酸化膜の形状に適用して、従来のシミュレーション方法を説明する図である。

【符号の説明】

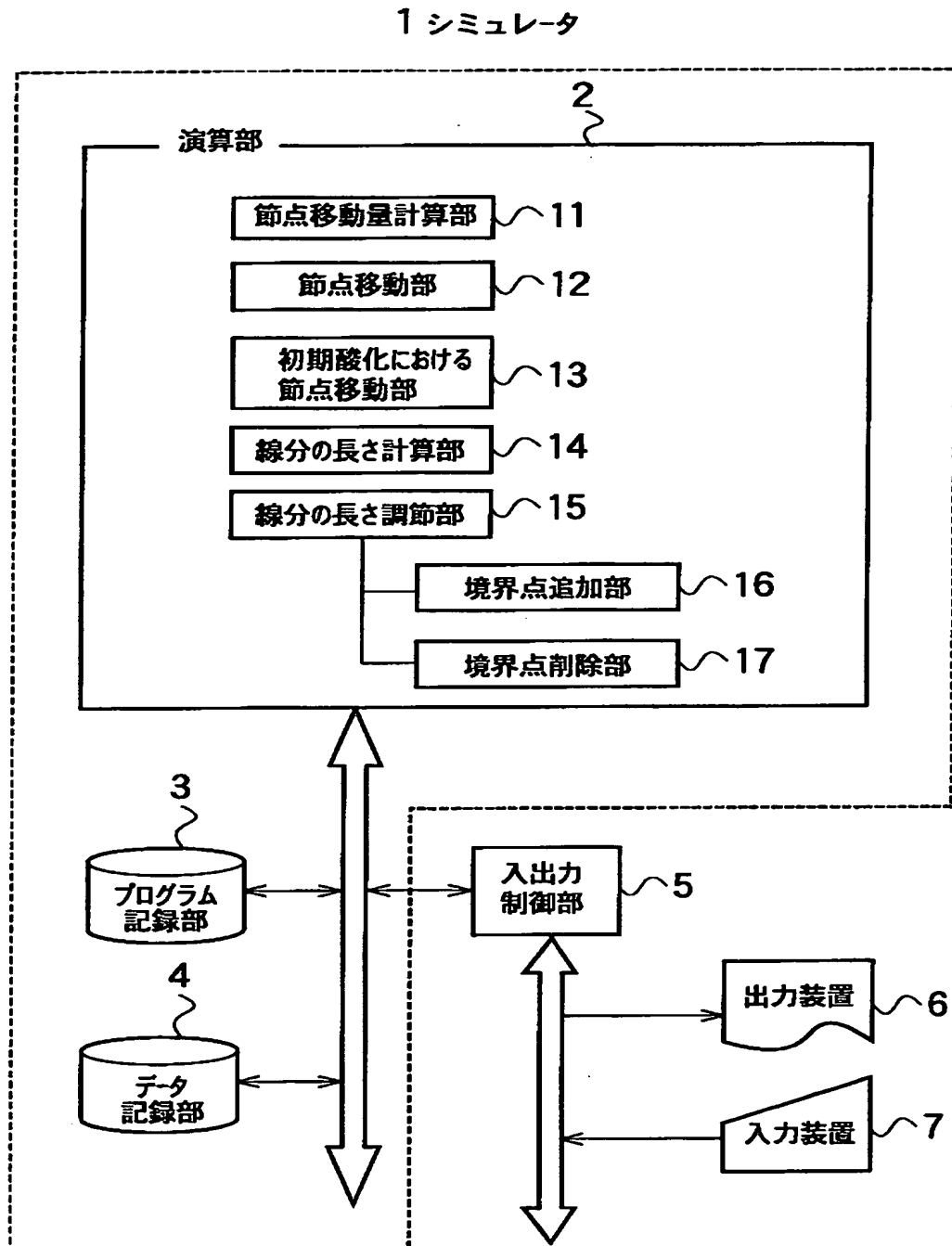
- 1 シミュレータ
- 2 演算部

- 3 プログラム記録部
- 4 データ記録部
- 5 入出力制御部
- 6 出力装置
- 7 入力装置
- 9 酸化雰囲気
- 1 1 節点移動量計算部
- 1 2 節点移動部
- 1 3 初期酸化における節点移動部
- 1 4 線分の長さ計算部
- 1 5 線分の長さ調節部
- 1 6 境界点追加部
- 1 7 境界点削除部
- 1 8、5 2 シリコン基板
- 1 9、5 3 熱酸化膜
- 2 0、2 3、5 4、5 7 節点
- 2 1、2 2、2 8、2 9、5 5、5 6、6 2、6 3、6 4 境界点
- 2 4、5 8 基準面
- 2 5 ポリシリコン
- 2 6、6 0 シミュレーション領域
- 2 7 シリコン窒化膜
- 3 0 コンピュータシステム
- 3 1 フロッピーディスクドライブ
- 3 2 CD-ROMドライブ
- 3 3 フロッピーディスク
- 3 4 CD-ROM
- 3 5 ROM
- 3 6 カセットテープ
- 4 1 境界点の識別番号データ領域

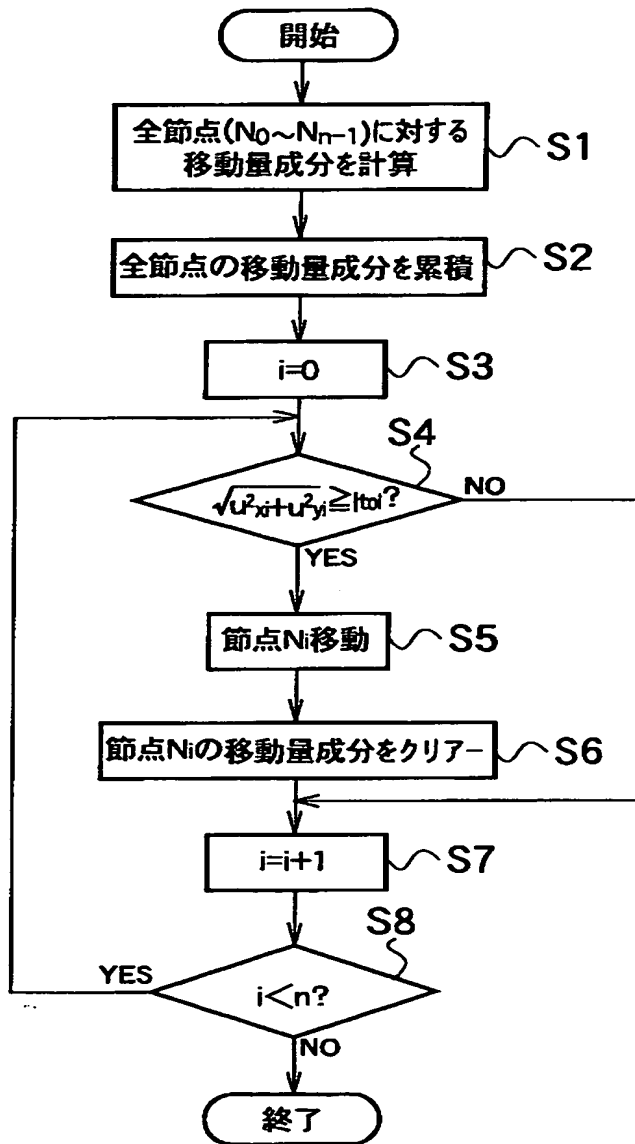
- 4 2 境界点の位置座標データ領域
- 4 3 境界点の移動量データ領域
- 4 4 移動前の線分の長さデータ領域
- 4 5 移動後（長さ調節前）の線分の長さデータ領域
- 4 6 長さ調節後の線分の長さデータ領域
- 5 1 境界線
- 5 9 溝
- 6 1 シリコン酸化膜

【書類名】 図面

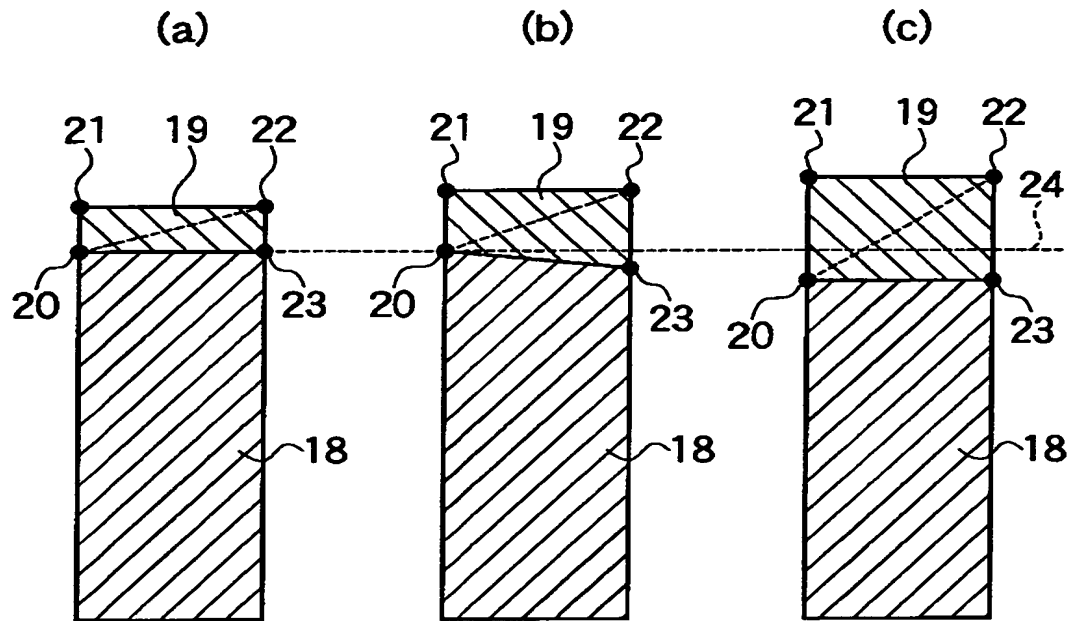
【図 1】



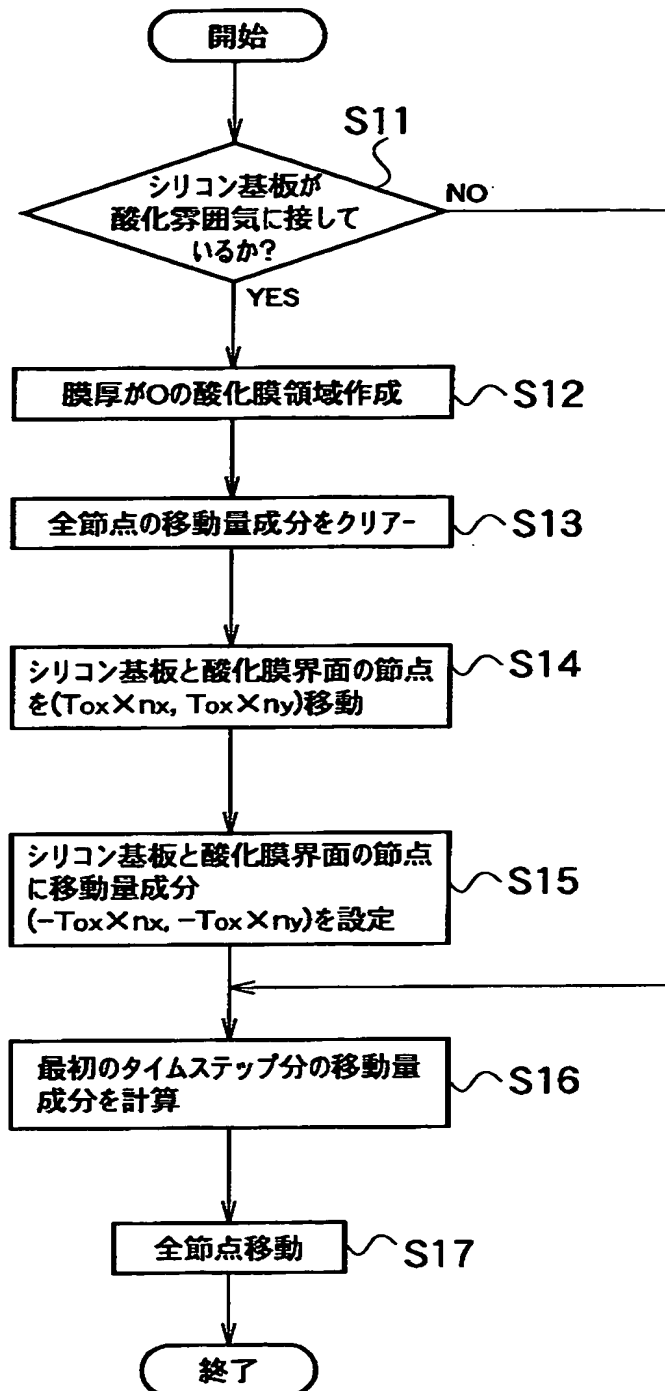
【図 2】



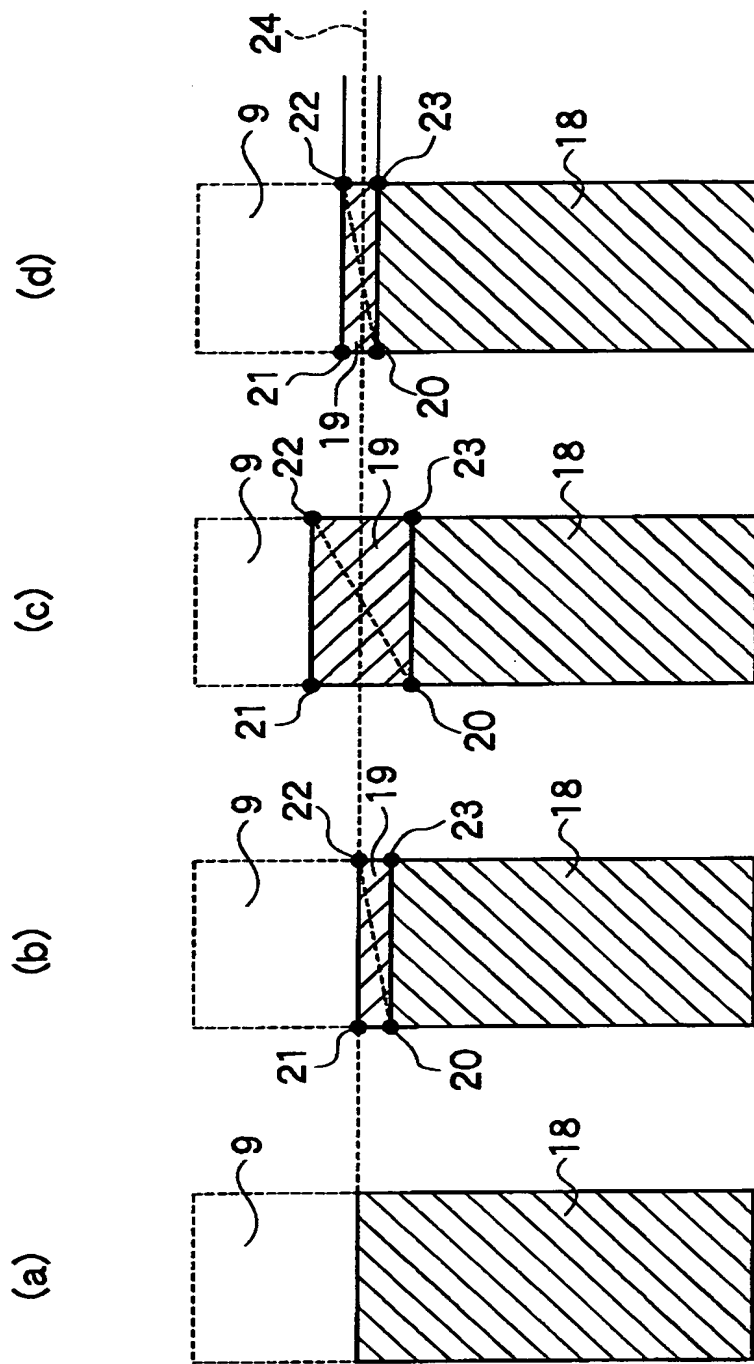
【図 3】



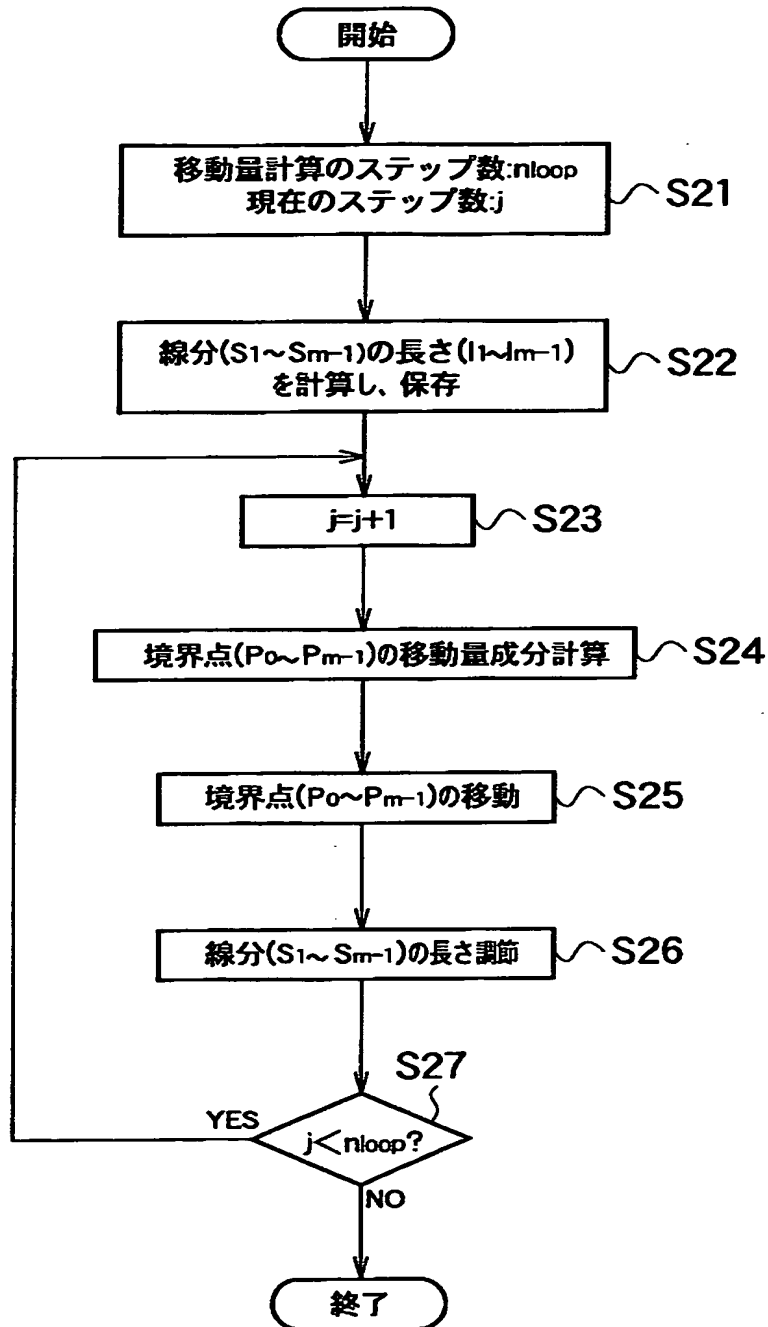
【図 4】



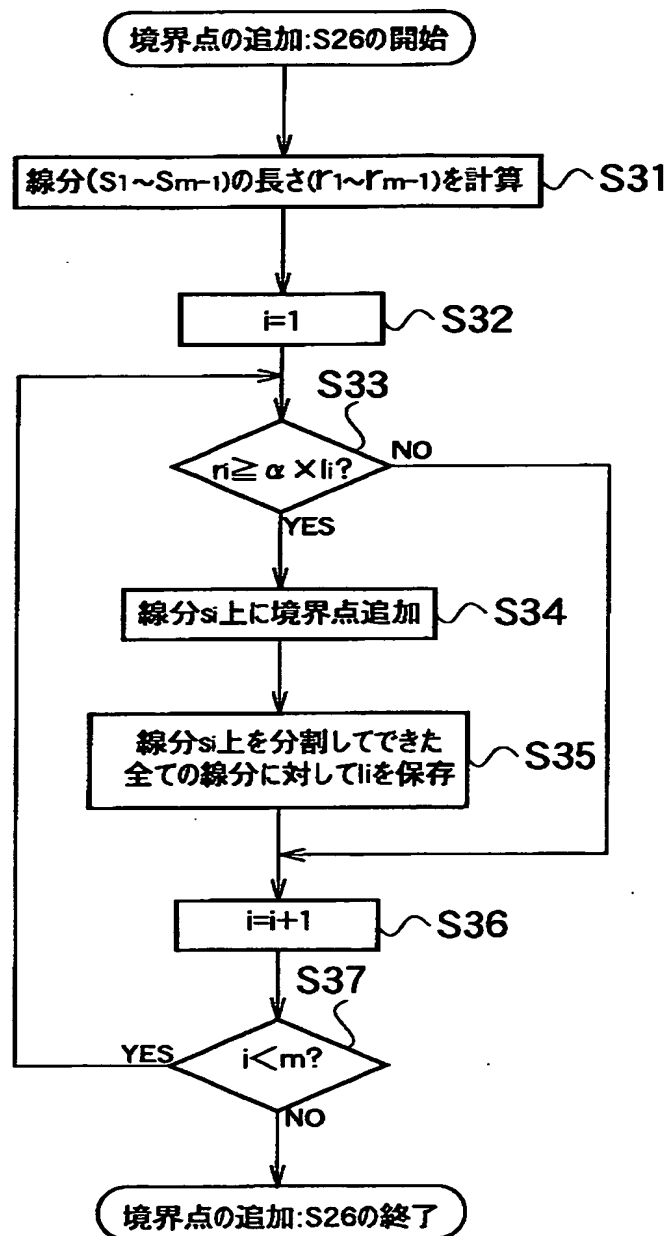
【図 5】



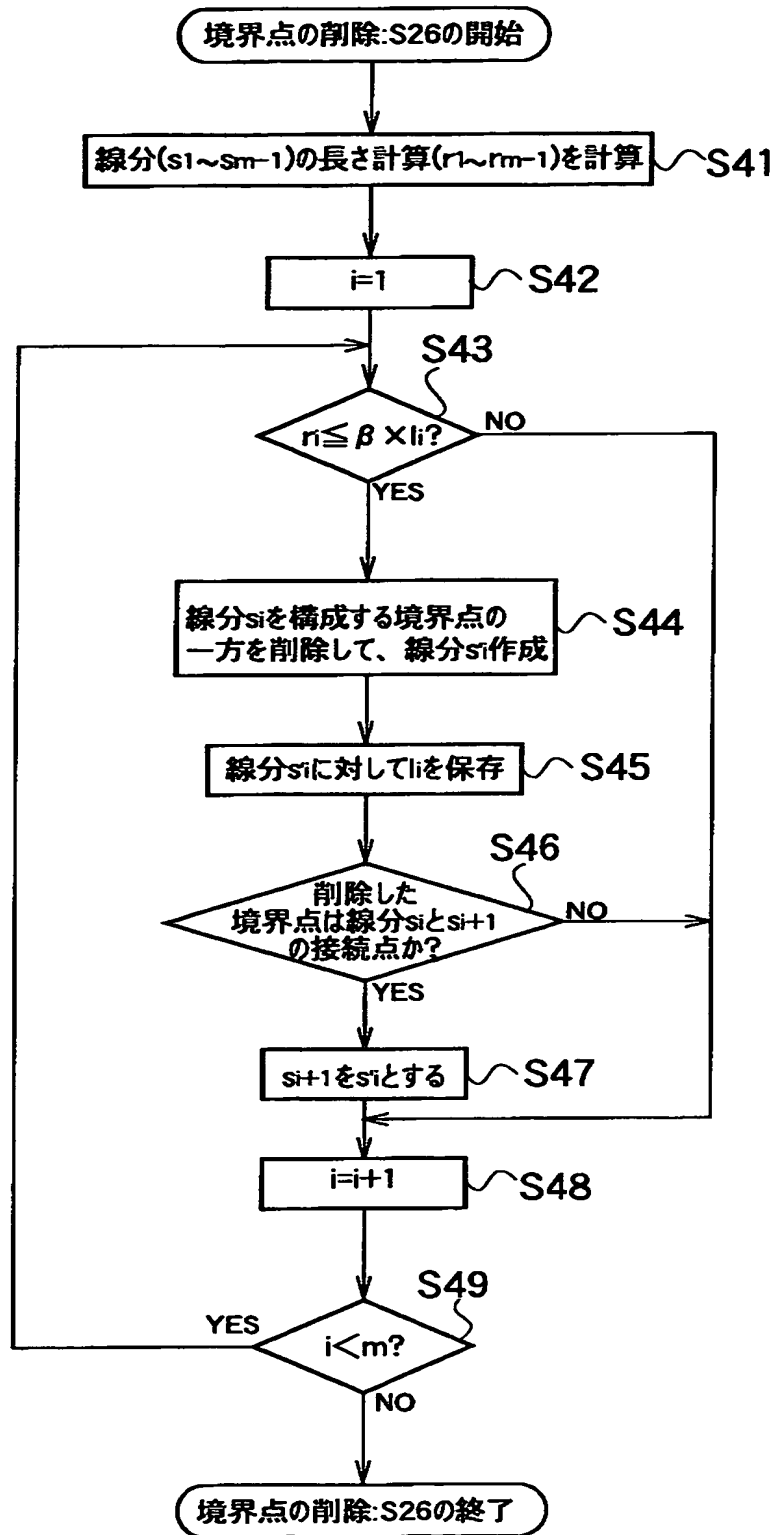
【図 6】



【図 7】



【図 8】

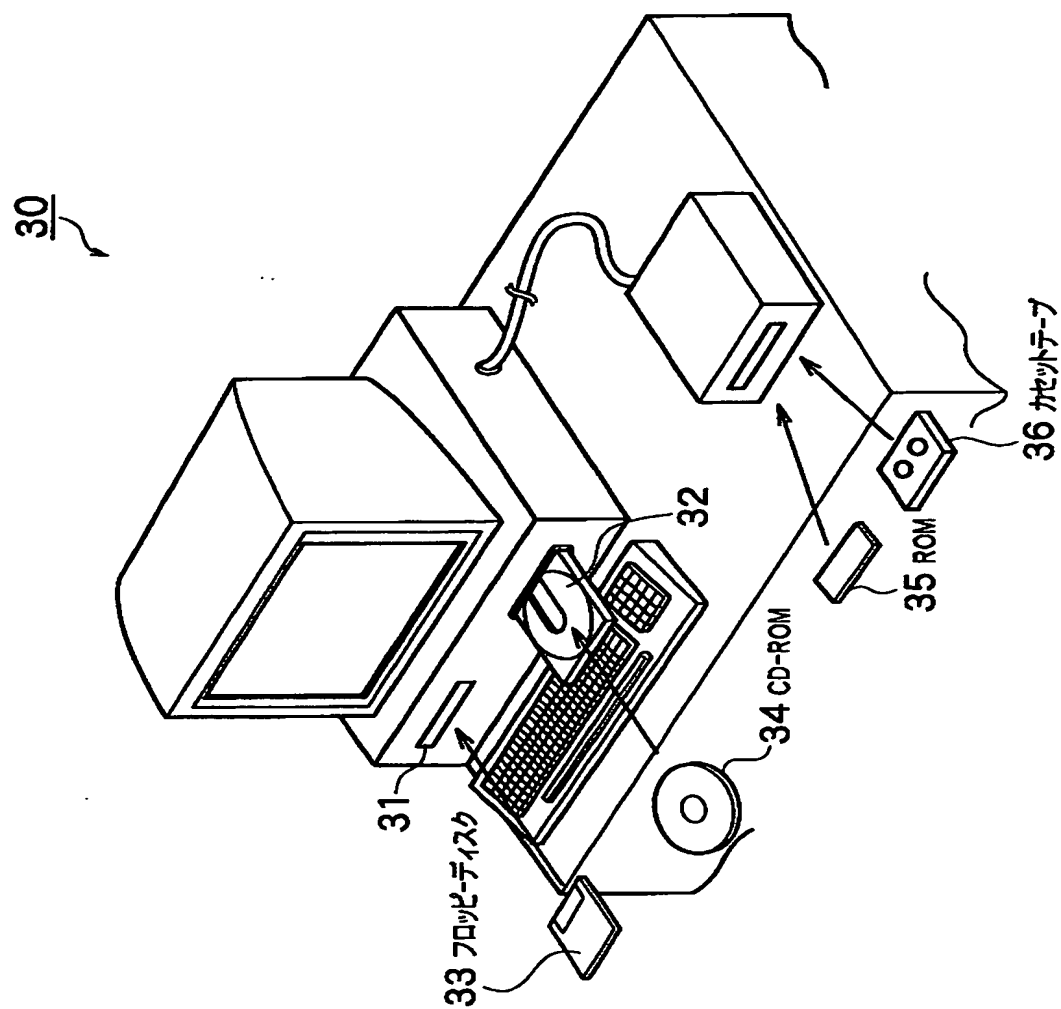


【図 9】

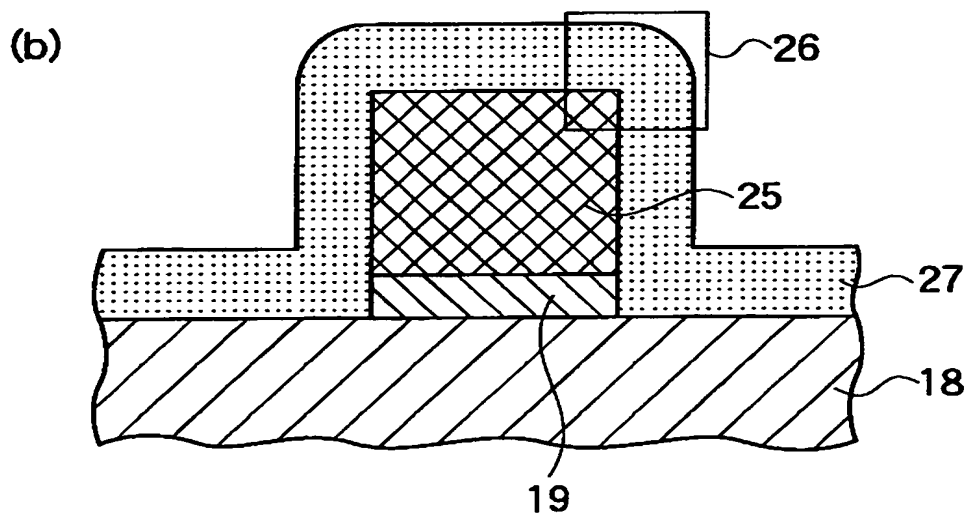
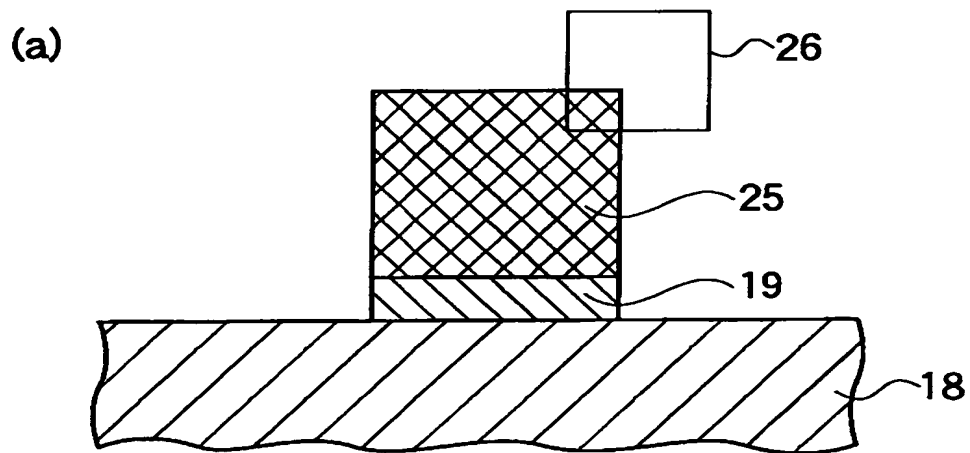
番号	境界点(P)				線分(S)の長さ		
	位置座標		移動量(U)		移動前 (l)	移動後 長さ調節前 (r)	長さ調節後 (l)
	x	y	Ux	Uy			
0	X ₀	y ₀	U _{x0}	U _{y0}			
1	X ₁	y ₁	U _{x1}	U _{y1}	l ₁	r ₁	
2	X ₂	y ₂	U _{x2}	U _{y2}	l ₂	r ₂	
3	X ₃	y ₃	U _{x3}	U _{y3}	l ₃	r ₃	
⋮							
i	X _i	y _i	U _{xi}	U _{yi}	l _i	r _i	
⋮							
n-1	X _{n-1}	y _{n-1}	U _{xn-1}	U _{yn-1}	l _{n-1}	r _{n-1}	

41
42
43
44
45
46

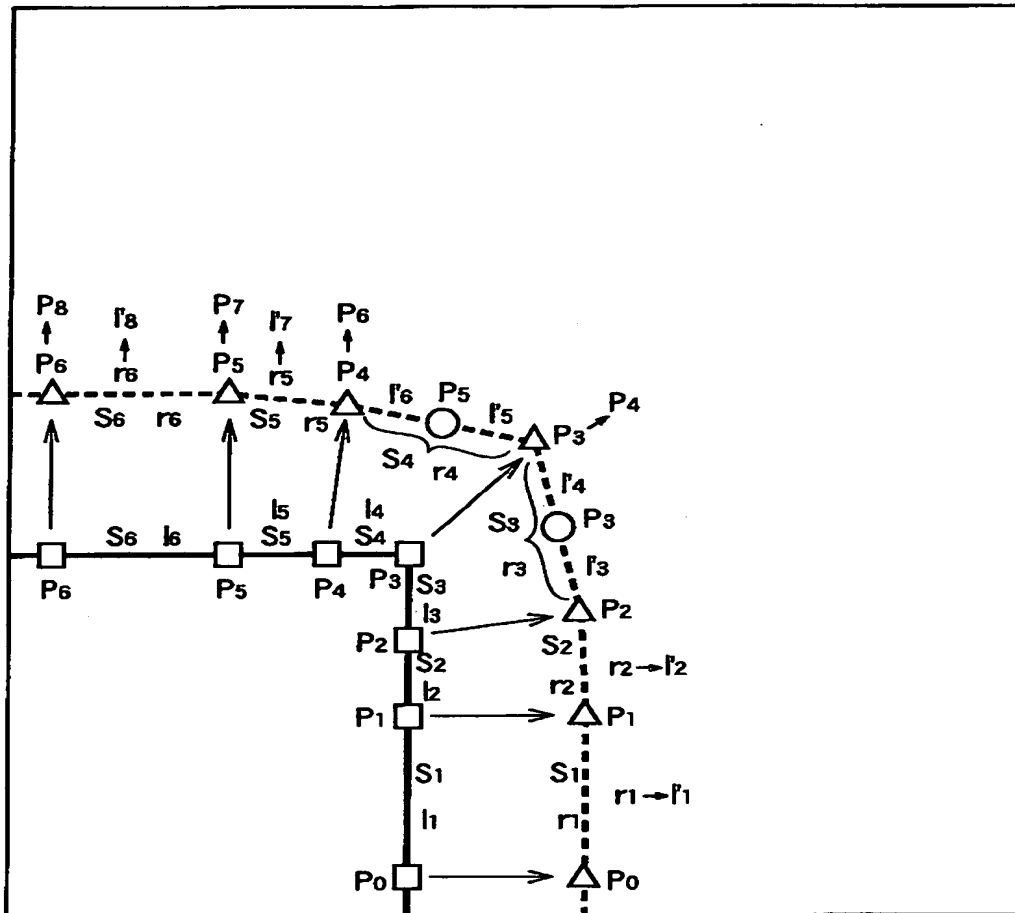
【図10】



【図11】



【図 12】



【図 1 3】

番号	境界点(P)				線分(S)の長さ		
	位置座標		移動量(U)		移動前 (l)	移動後 長さ調節前 (r)	長さ調節後 (l)
	X	y	Ux	Uy			
0	X ₀	y ₀	0	0			
1	X ₁	y ₁	0	0	l ₁		
2	X ₂	y ₂	0	0	l ₂		
3	X ₃	y ₃	0	0	l ₃		
4	X ₄	y ₄	0	0	l ₄		
5	X ₅	y ₅	0	0	l ₅		
6	X ₆	y ₆	0	0	l ₆		

41
42
43
44
45
46

【図 14】

番号	境界点(P)				線分(S)の長さ		
	位置座標		移動量(U)		移動前 (l)	移動後 長さ調節前 (r)	長さ調節後 (l)
	X	y	Ux	Uy			
0	X ₀	y ₀	U _{x0}	U _{y0}			
1	X ₁	y ₁	U _{x1}	U _{y1}	l ₁		
2	X ₂	y ₂	U _{x2}	U _{y2}	l ₂		
3	X ₃	y ₃	U _{x3}	U _{y3}	l ₃		
4	X ₄	y ₄	U _{x4}	U _{y4}	l ₄		
5	X ₅	y ₅	U _{x5}	U _{y5}	l ₅		
6	X ₆	y ₆	U _{x6}	U _{y6}	l ₆		

41
42
43
44
45
46

【図 15】

番号	境界点(P)				線分(S)の長さ		
	位置座標		移動量(U)		移動前 (l)	移動後 長さ調節前 (r)	長さ調節後 (r')
	x	y	Ux	Uy			
0	x' ₀	y' ₀	0	0			
1	x' ₁	y' ₁	0	0	l ₁	r ₁	
2	x' ₂	y' ₂	0	0	l ₂	r ₂	
3	x' ₃	y' ₃	0	0	l ₃	r ₃	
4	x' ₄	y' ₄	0	0	l ₄	r ₄	
5	x' ₅	y' ₅	0	0	l ₅	r ₅	
6	x' ₆	y' ₆	0	0	l ₆	r ₆	

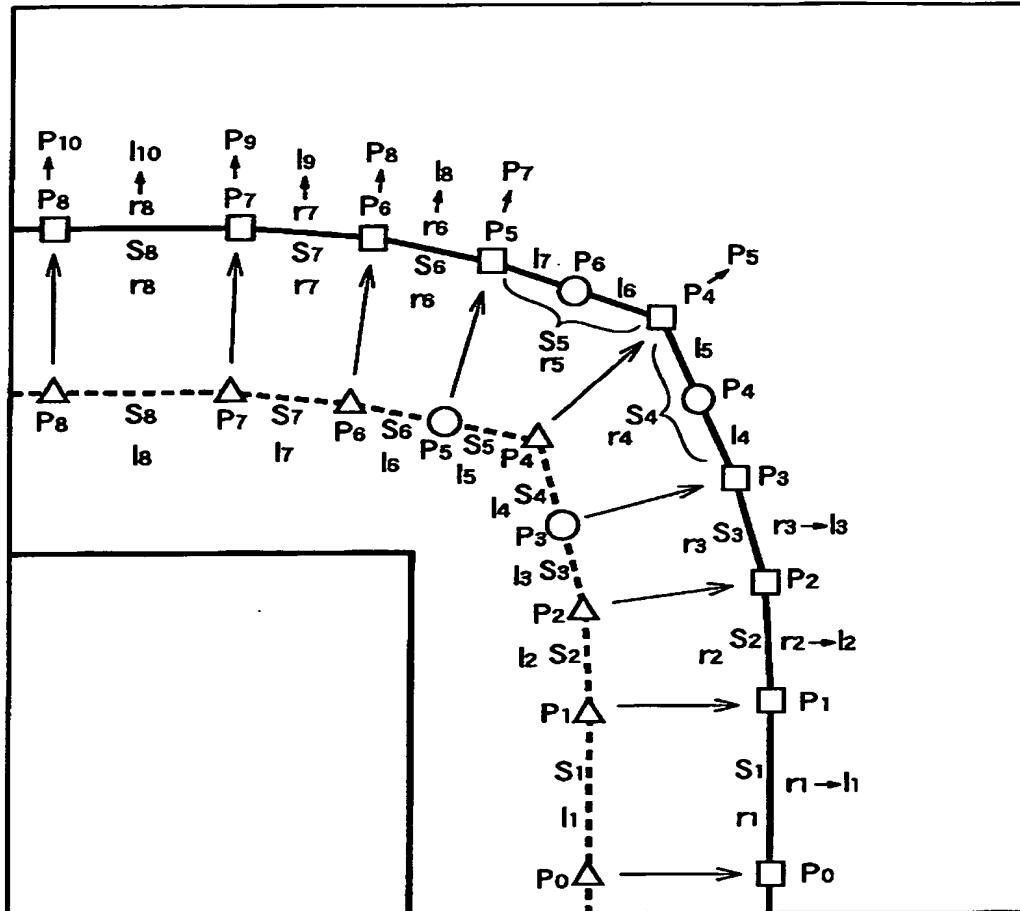
{ 41 }
{ 42 }
{ 43 }
{ 44 }
{ 45 }
{ 46 }

【図 16】

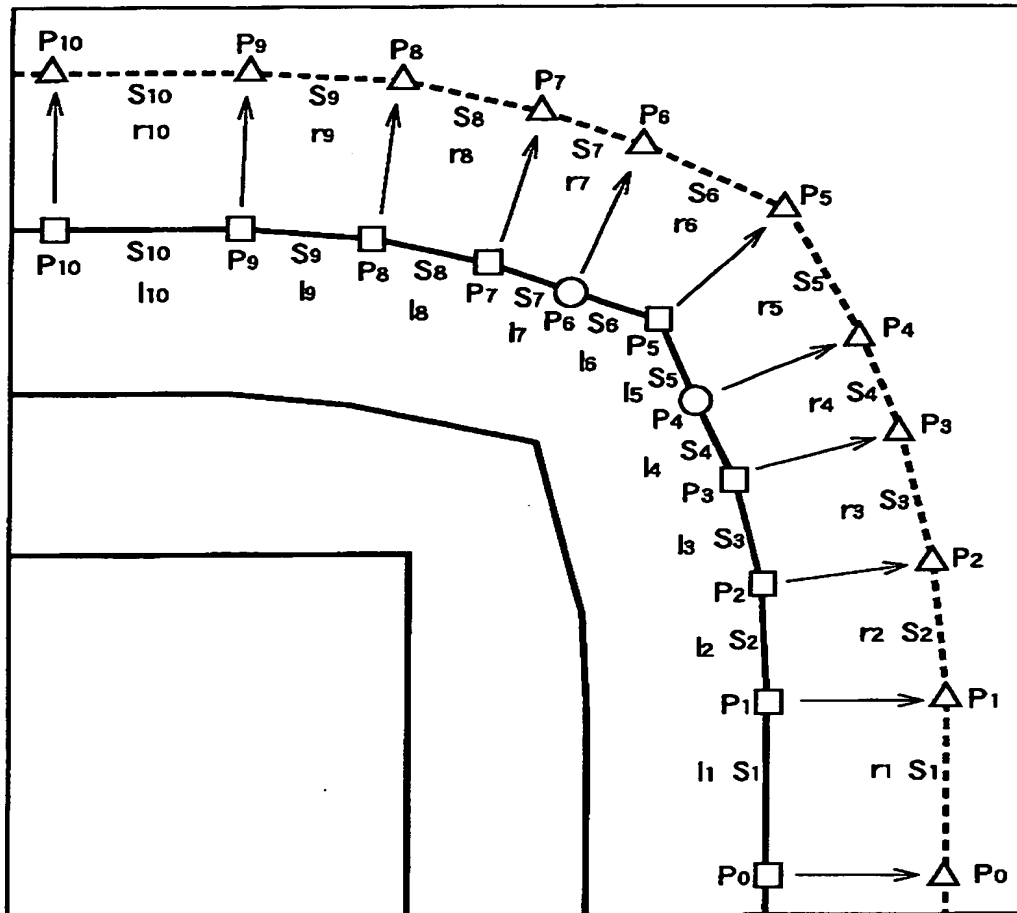
番号	境界点(P)				線分(S)の長さ		
	位置座標		移動量(U)		移動前 (l)	移動後 長さ調節前 (r)	長さ調節後 (l')
	x	y	U _x	U _y			
0	x ₀	y ₀	0	0			
1	x ₁	y ₁	0	0	l ₁	r ₁	r ₁
2	x ₂	y ₂	0	0	l ₂	r ₂	r ₂
3	x ₇	y ₇	0	0	l ₃	r ₃	l' ₃
4	x ₃	y ₃	0	0	l ₄	r ₄	l' ₄
5	x ₈	y ₈	0	0	l ₅	r ₅	l' ₅
6	x ₄	y ₄	0	0	l ₆	r ₆	l' ₆
7	x ₅	y ₅	0	0			r ₅
8	x ₆	y ₆	0	0			r ₆

41
42
43
44
45
46

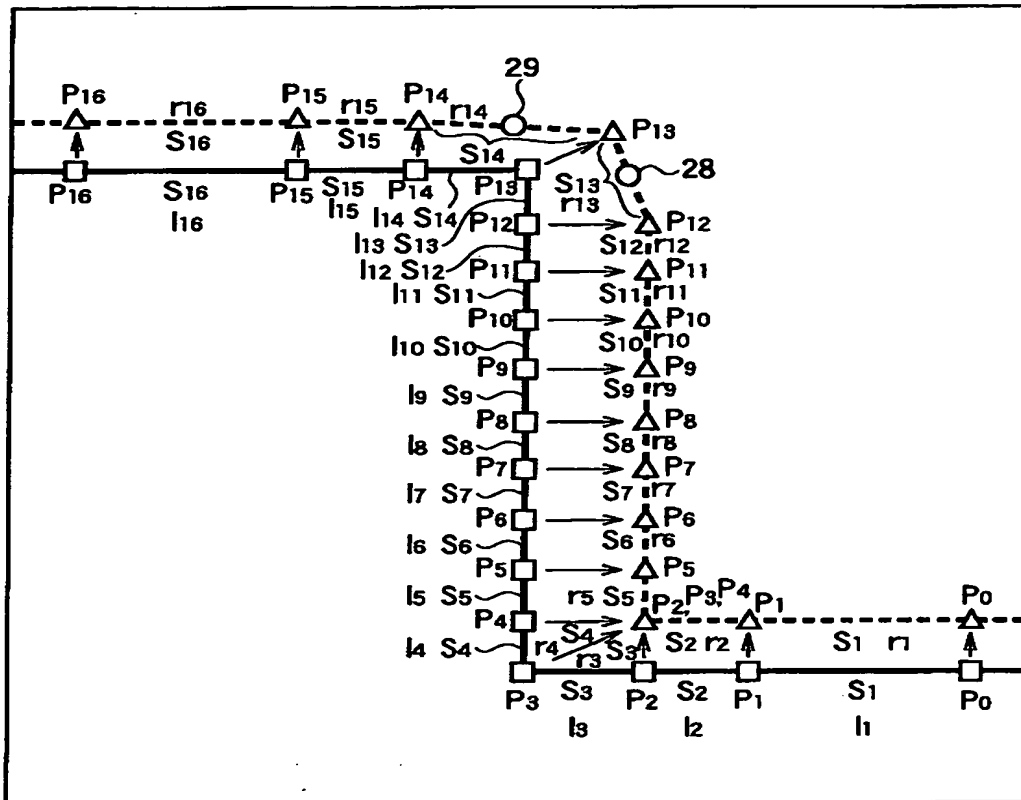
【図 17】



【図18】

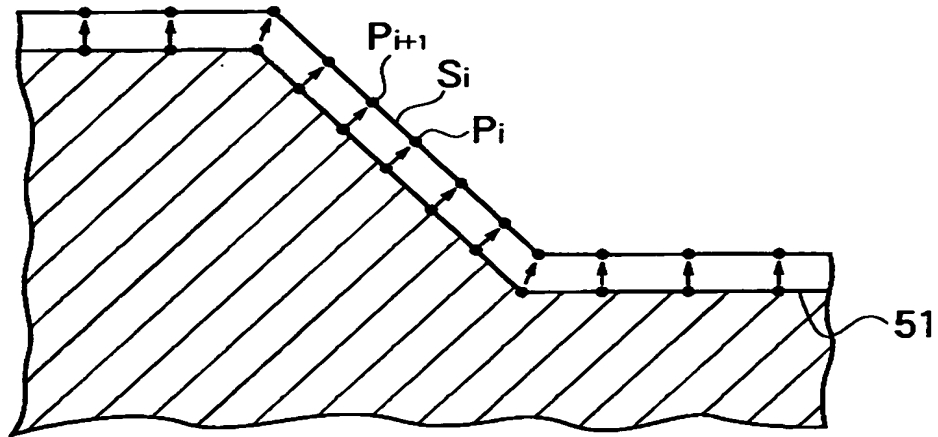


【図 19】

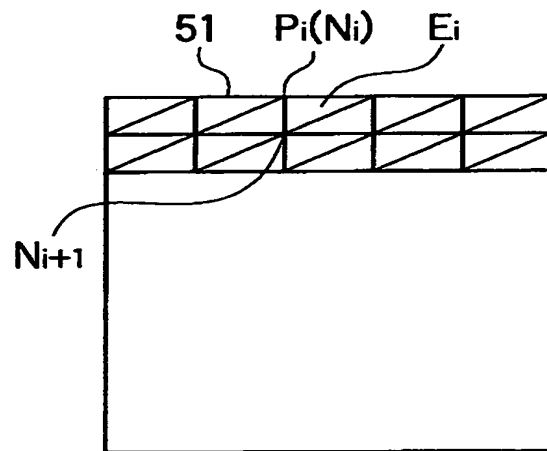


【図 20】

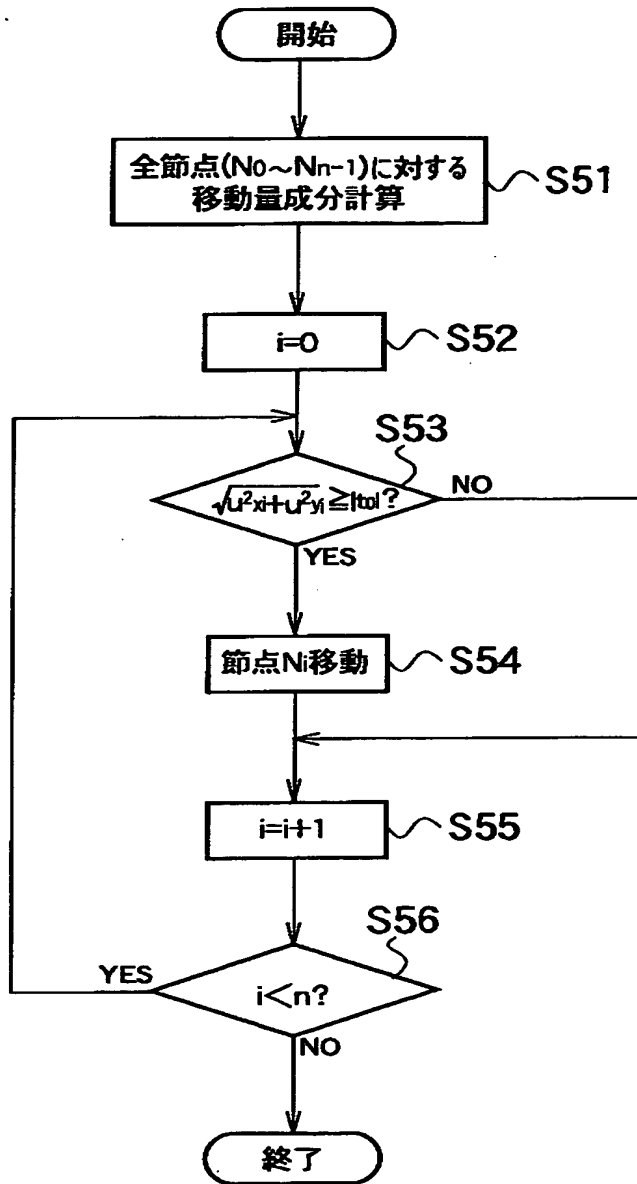
(a)



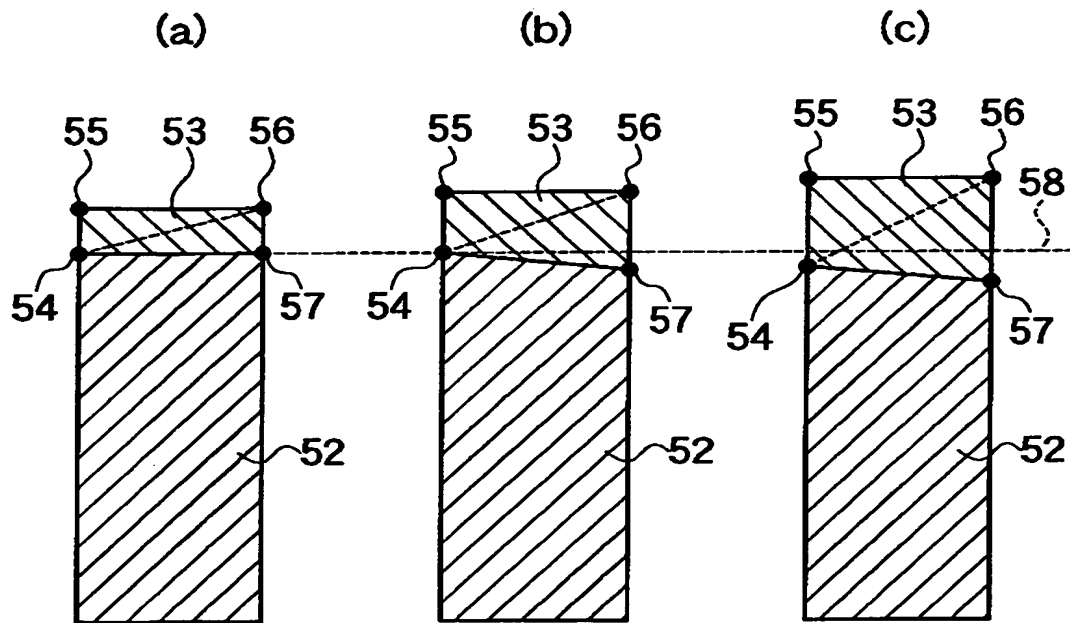
(b)



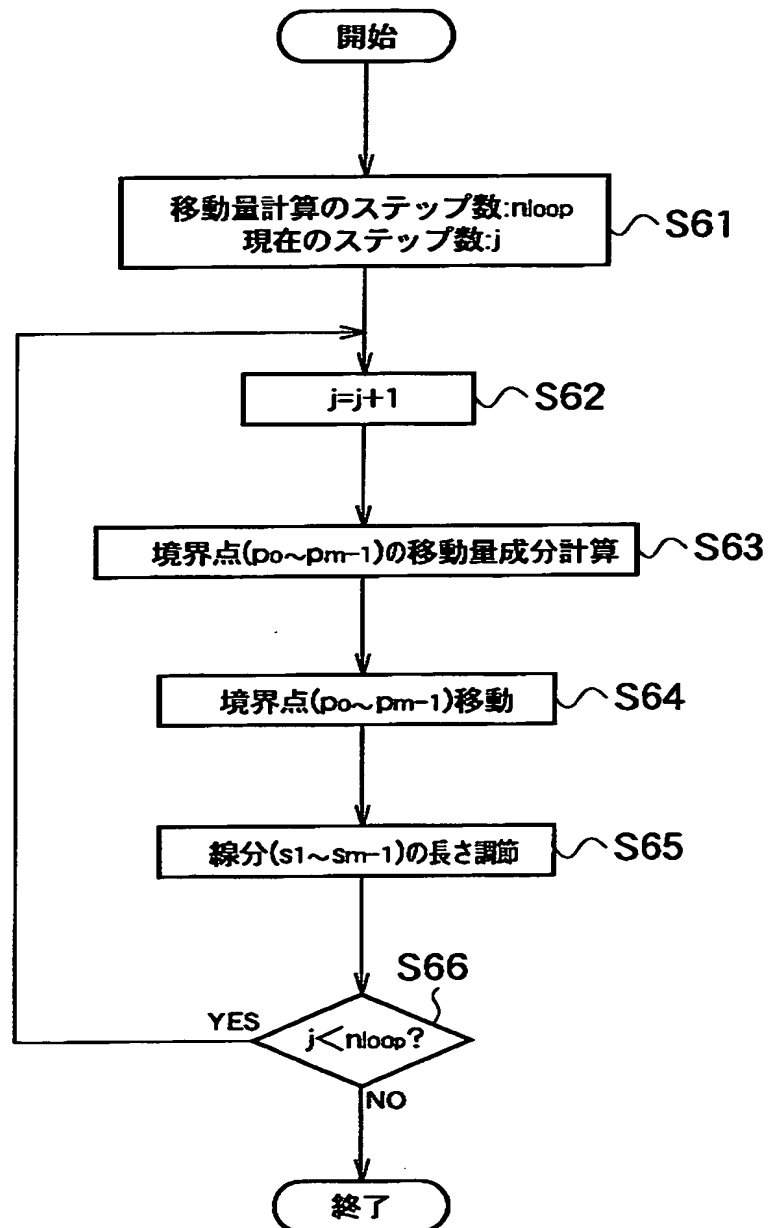
【図 21】



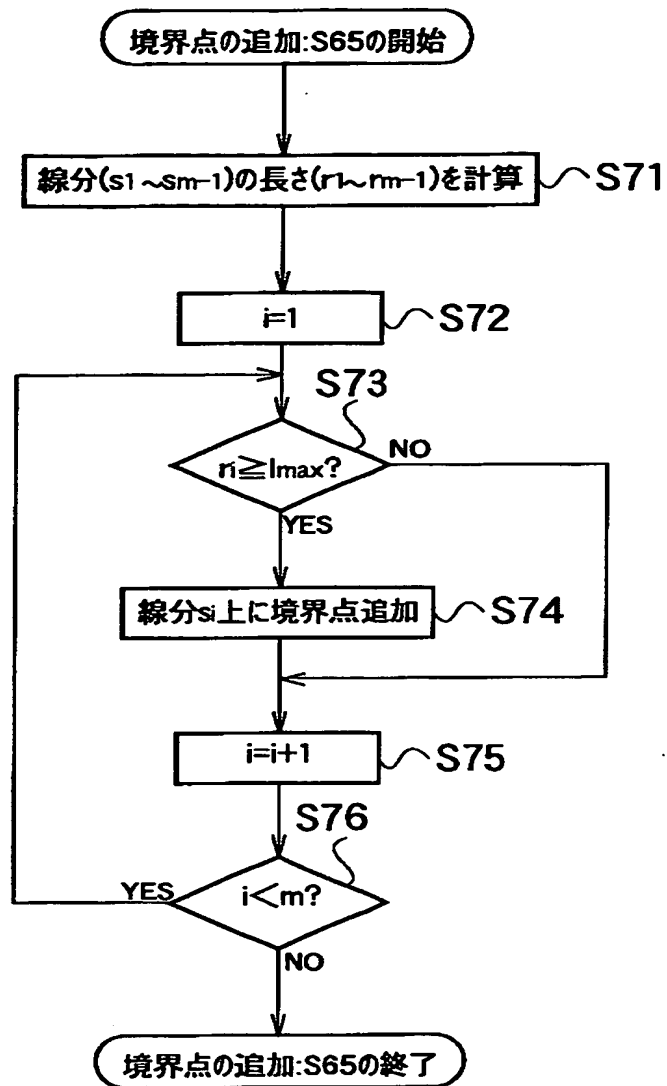
【図 2 2】



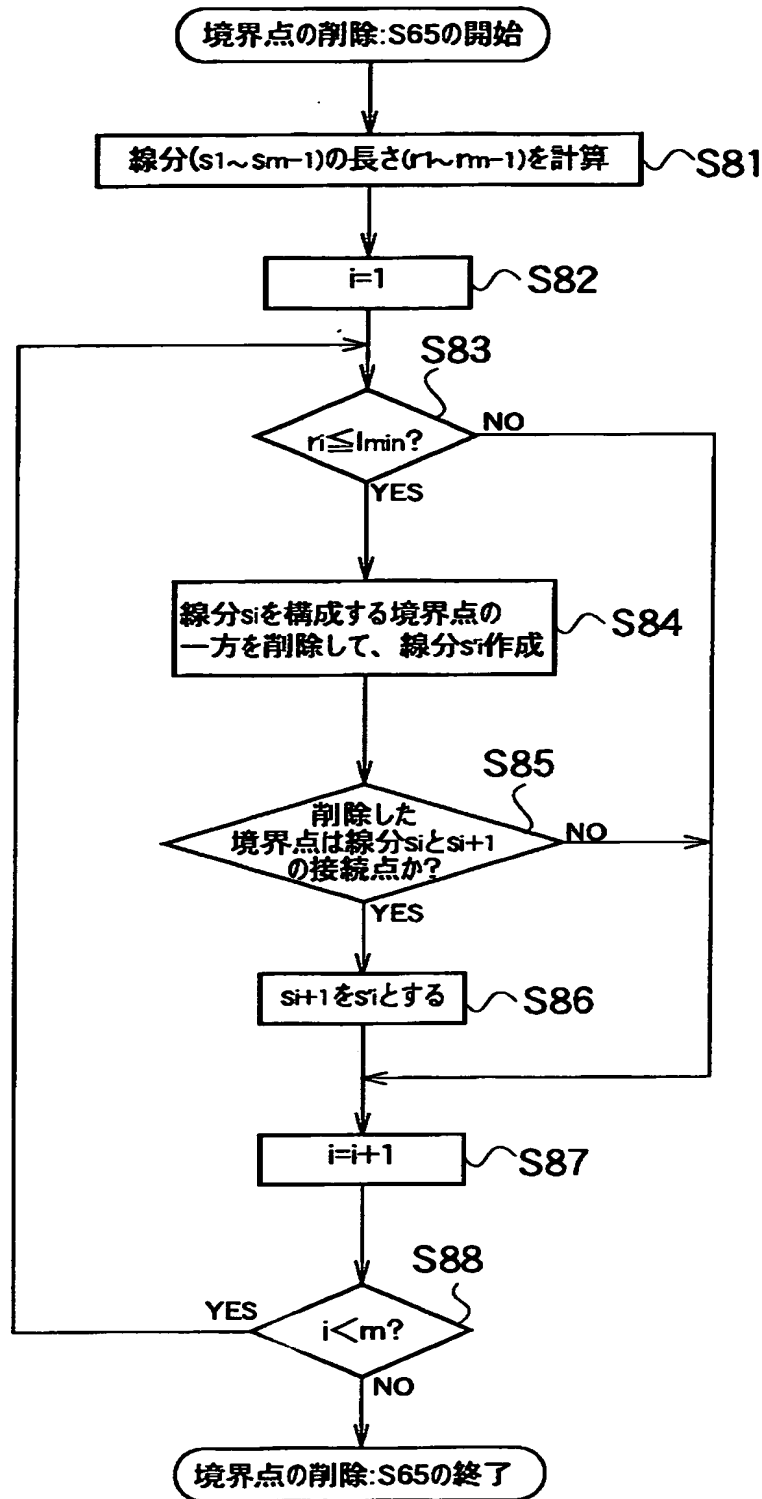
【図 23】



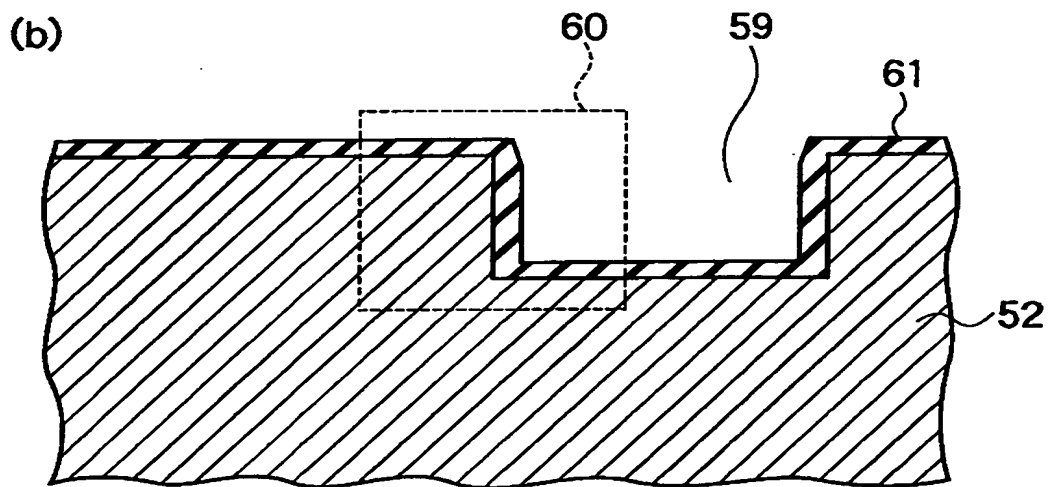
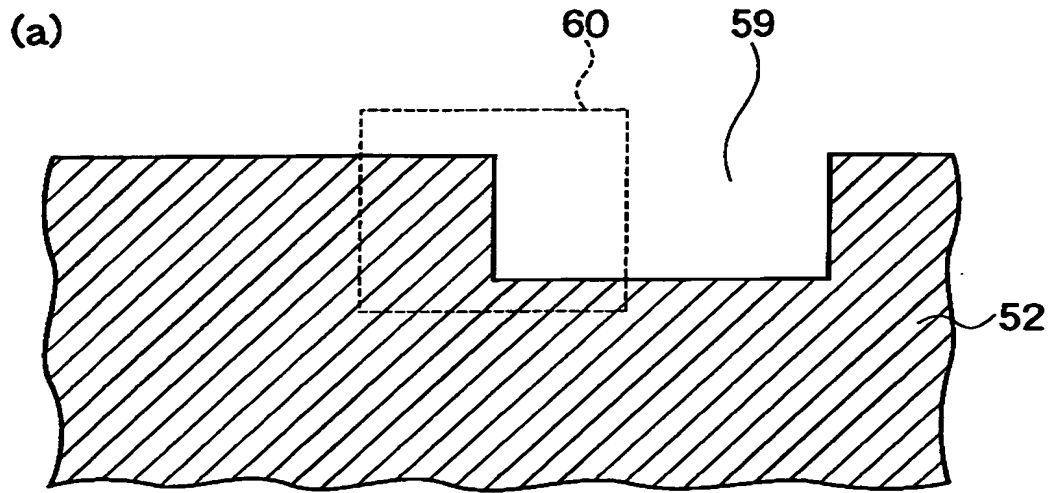
【図 2 4】



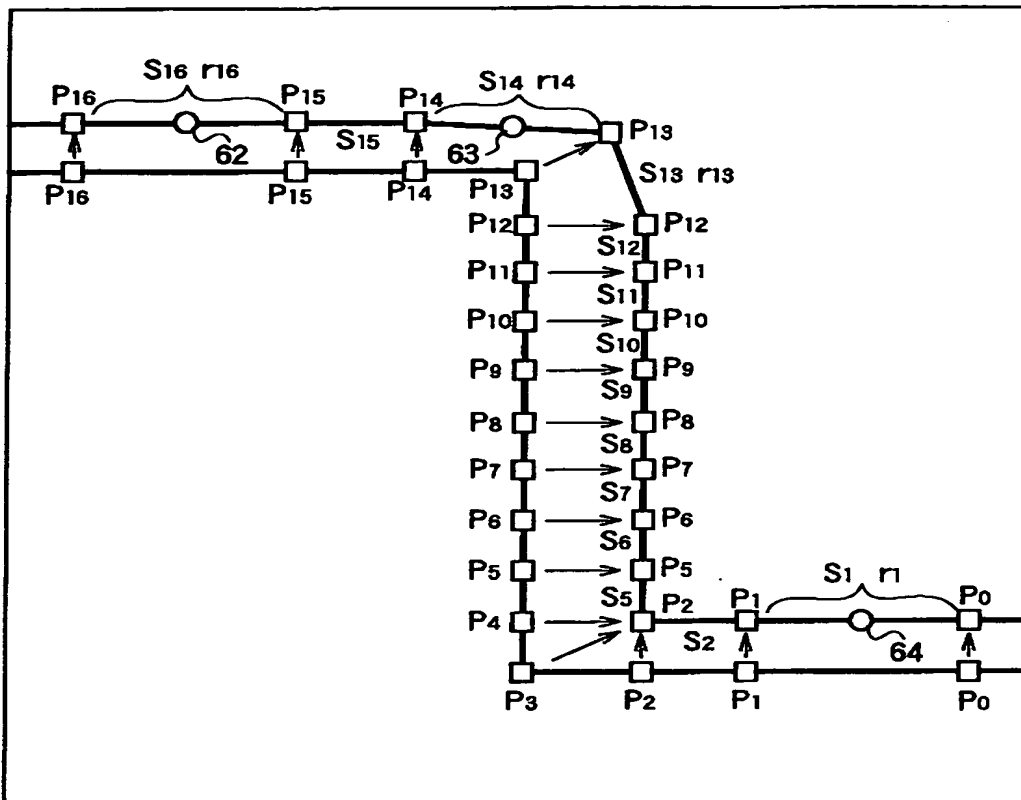
【図 25】



【図 2 6】



【図 27】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 薄膜化等による微細な領域でも、計算時間を短縮し計算精度を高められる高次元のプロセスシミュレーションを提供する。

【解決手段】 物質表面上のストリングに複数の境界点を生成させ、その境界点間の線分の第 1 の長さを求める。プロセスモデルに従って境界点の移動量を計算し、累積して累積移動量を求める。累積移動量が許容移動量以上になると境界点を累積移動量だけ移動させる。移動後の境界点間の線分の第 2 の長さを求め、第 1 と第 2 の長さの比率により境界点を追加又は削除をする。

【選択図】 図 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000003078]

1. 変更年月日	1990年 8月22日
[変更理由]	新規登録
住 所	神奈川県川崎市幸区堀川町72番地
氏 名	株式会社東芝